

## KONSEP MATERI FISIKA DASAR 2

### RIWAYAT PENULIS



YUBERTI, lahir di Pesisir Barat, Lampung pada tanggal 20 September 1977 sebagai anak kelima dari enam bersaudara pasangan Bapak Hi. Yubhar Taufik dan Ibu Hj. Masroyati (Alm).

Menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-kanak pada TK Pertiwi Krui Pesisir Barat, pada tahun 1983, SDN 1 Krui pada tahun 1990, SMPN 1 Krui pada tahun 1993, SMAN 1 Krui pada tahun 1996, dan menyelesaikan S1 Program Studi Pendidikan

Fisika Jurusan MIPA FKIP Universitas Lampung pada tahun 2000, dan S2 pada Program Pascasarjana Teknologi Pendidikan di Universitas Lampung selesai tahun 2005. Pada tahun 2010 melanjutkan studi S3 di Universitas Negeri Jakarta Program Studi Teknologi Pendidikan melalui Beasiswa Kemenag.

Pengalaman Kerja & Karir: Menerima Beasiswa Tunjangan Ikatan Dinas (TID) Tahun 1996-2000, 1997-2000 diangkat sebagai Asisten Dosen FKIP Unila. Staf Pengajar di SMA Yayasan Pembina Universitas Lampung 1999-2005, Tentor di Lembaga Pendidikan Primagama Cabang Lampung 2000-2005, Tutor pada Universitas Terbuka UPBJJ Bandar Lampung, tahun 2003-sekarang. Tahun 2005 mendapatkan penghargaan sebagai guru berprestasi dari Gubernur Lampung. Sejak tahun 2006 diangkat menjadi dosen tetap pada Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Institut Agama Islam Negeri (IAIN) Raden Intan Lampung. Karya Tulis: Konsep Kelistrikan dalam Fisika Dasar (2007), Pengaruh Panjang gelombang cahaya dalam Peristiwa Fotosintesis (2009), Biomekanika Pada Konsep Fisika Dasar (2010), Aplikasi Sains Berbasis Multimedia Pada Anak Usia Dini Tahun (2010), Assesment Student Performance dalam Praktikum Fisika Dasar, (2011), Dinamika Perkembangan Definisi Teknologi Pendidikan (2013), Persepsi Guru Pamong terhadap Kemampuan Mengajar mahasiswa Prodi Pendidikan Fisika (2013), Teori Belajar dan Pengembangan Bahan Ajar dalam Pendidikan (2014), Materi dan Konsep Dasar Fisika (2014).

ISBN: 978-602-1297-30-8  
978-602-1297-28-5 Jilid Lengkap



Aura-Publishing  
@Aura\_Publishing  
www.aura-publishing.com

KONSEP MATERI FISIKA DASAR 2

Dr. YUBERTI, M.Pd.



## KONSEP MATERI FISIKA DASAR 2

—♦Dr. YUBERTI, M.Pd.♦—





# KONSEP MATERI FISIKA DASAR 2

—◆Dr. YUBERTI, M.Pd.◆—

Hak cipta pada penulis  
Hak penerbitan pada penerbit  
Tidak boleh diproduksi sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apapun  
Tanpa izin tertulis dari pengarang dan/atau penerbit

**Kutipan Pasal 72 :**

Sanksi pelanggaran Undang-undang Hak Cipta (UU No. 10 Tahun 2012)

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal (49) ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau hasil barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

**Dr. YUBERTI, M.Pd.**

KONSEP MATERI  
**FISIKA**  
DASAR 2



Perpustakaan Nasional RI: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

**Dr. YUBERTI, M.Pd.**

## **KONSEP MATERI FISIKA DASAR 2**

Desain Cover & Layout  
Yan'sdesain

**ISBN : 978-602-1297-30-8**  
**978-602-1297-28-5 Jilid Lengkap**

Cetakan April 2014  
x +310 hlm. 15,5 x 23 cm

Penerbit  
**Anugrah Utama Raharja (AURA)**  
Printing & Publishing  
**ANGGOTA IKAPI**  
No. 003 / LPU / 2013

Alamat  
Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro, Komplek Unila  
Raja Basa Bandar Lampung 081281430268  
[www.aura-publishing.com](http://www.aura-publishing.com)

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang  
All Rights Reserved.

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian  
atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit

# KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan Puji dan Syukur kehadiran Allah SWT, Atas segala rahmat dan karunia-Nya, Akhirnya Penulis dapat menyelesaikan penulisan buku yang berjudul ***Konsep Materi Fisika Dasar 2***. Penulis menyadari bahwa produk berupa buku ini dapat diselesaikan berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis berterima kasih kepada beberapa orang yang memberikan kontribusi dalam penyelesaian penulisan buku ini, yakni Sri Latifah, M.Sc, Sabar Wasfandi, M.Pfis, Ikhsanudin, S.Pd, dan mahasiswa-mahasiswaku yang kreatif diantaranya: Belli Riadi, Prizas, Eko, Okky, dan yang lainnya yang tidak bisa disebut satu persatu . Walaupun sederhana tetapi penulis cukup bangga dengan karya ini. Karena sangat disadari bahwa kegiatan menulis suatu karya berupa buku membutuhkan pemikiran yang cermat dan lebih serius.

Semoga karya penulis, berupa buku ini dapat bermanfaat khususnya bagi mahasiswa untuk memenuhi literatur perkuliahan yakni mata kuliah fisika dasar, serta mata kuliah lainnya seperti mekanika, listrik magnet, gelombang, alat-alat ukur listrik serta mata kuliah yang lainnya. Semoga dengan selesainya penulisan buku ini akan memotivasi kita semua untuk dapat meluangkan waktu ditengah kesibukan yang demikian padat. Serta juga dapat meningkatkan mutu karya ilmiah berupa produk buku yang merupakan pengembangan dalam bidang pendidikan dan pengajaran, menambah khazanah ragam pengetahuan khususnya sains, dan berguna serta bermanfaat bagi masyarakat dan pembangunan yang berbasis iman, ilmu dan akhlak mulia.

Bandar Lampung, April 2014  
Penulis







**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL  
PROGRAM PASCA SARJANA  
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

Alamat : Jln.Rawamangun Muka Jakarta 13220 (021) 4721340

**SAMBUTAN GURU BESAR  
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillah, kegiatan menulis karya ilmiah salah satunya berupa produk buku di Jenjang Perguruan Tinggi semakin menjamur dan semakin termotivasi untuk mencoba memulai berkarya.

Kami menyambut baik penulisan karya ilmiah berupa buku dari hasil pemikiran saudari Dr. Yuberti, M.Pd, dengan judul: Konsep materi fisika dasar 2 dengan ISBN **978-602-1297-30-8**.

Kami berharap, semoga produk buku ini dapat meningkatkan mutu penulisan suatu hasil karya dalam bidang pendidikan dan pengajaran, menambah khazanah ragam pengetahuan, dan berguna serta bermanfaat bagi masyarakat dan pembangunan yang berbasis iman, ilmu dan akhlak mulia.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Bandar Lampung, April 2014  
Guru Besar Universitas Negeri Jakarta,

Prof. Dr. Hj. Yetti Supriyati, M.Pd







KEMENTERIAN AGAMA  
INSTITUT AGAMA ISLAM NEGERI RADEN INTAN  
LAMPUNG  
FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN

Alamat : Jl. Let. Kol. H. Endro Suratmin Sukarame I Bandar Lampung (0721) 703260

## SAMBUTAN DEKAN FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN IAIN RADEN INTAN LAMPUNG

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillah, kegiatan menulis karya ilmiah salah satunya berupa produk buku di lingkungan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan IAIN Raden Intan Lampung Tahun 2014, semakin menjamur dan semakin termotivasi.

Kami menyambut baik penulisan karya ilmiah berupa buku dari hasil pemikiran saudari Dr. Yuberti, M.Pd, dengan judul: **Konsep Materi Fisika Dasar 2** dengan ISBN 978-602-1297-30-8

Kami berharap, semoga produk buku ini dapat meningkatkan mutu penulisan suatu hasil karya dalam bidang pendidikan dan pengajaran, menambah khazanah ragam pengetahuan, dan berguna serta bermanfaat bagi masyarakat dan pembangunan yang berbasis iman, ilmu dan akhlak mulia.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Bandar Lampung, April 2014  
Dekan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan,

Prof. DR. H. Syaiful Anwar, MPd  
NIP. 19611109 199003 1 003





# DAFTAR ISI

<b>PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>vii</b>
<b>BAB I MOMENTUM SUDUT DAN ROTASI BENDA TEGAR.....</b>	<b>1</b>
A. Momen gaya.....	1
B. Titik berat.....	2
C. Momen inersia .....	11
D. Energi kinetik rotasi .....	15
E. Momentum sudut .....	17
F. Gerak menggelinding .....	19
G. EVALUASI .....	21
<b>BAB II FLUIDA .....</b>	<b>27</b>
A. Fluida Statis.....	28
B. Fluida Dinamis.....	39
C. EVALUASI.....	46
<b>BAB III TEORI KINETIK GAS.....</b>	<b>51</b>
A. Hukum-Hukum Tentang Gas .....	51
B. Tekanan, Suhu dan Energi Kinetik Gas .....	54
C. EVALUASI.....	57
<b>BAB IV THERMODINAMIKA .....</b>	<b>61</b>
A. Usaha dan Hukum 1 Termodinamika .....	62
B. Kapasitas Kalor dan Kalor Jenis Gas.....	68
D. Mesin Kalor dan Siklus Carnot .....	72
E. Hukum II Termodinamika.....	76
F. Hukum III Termodinamika .....	79
G. EVALUASI.....	81

<b>BAB V GELOMBANG DAN GEJALA-GEJALANYA .....</b>	<b>87</b>
A. Pengertian Gelombang .....	87
B. Sifat –Sifat Umum Gelombang.....	89
C. Persamaan Gelombang.....	89
D. Energy Geloombang.....	93
E. Superposisi Dan Interferensi Gelombang.....	93
F. Refleksi Dan Tranmisi Gelombang .....	95
Rangkuman.....	96
Evaluasi .....	97
Peta Konsep .....	103
<b>BAB VI BUNYI.....</b>	<b>105</b>
A. Bunyi Merupakan Gelombang Longitudinal.....	105
B. Frekuensi Dan Tinggi Nada .....	106
C. Infrasonik Dan Ultrasonik.....	106
D. Aplitudo Dan Kuat Nada.....	107
E. Efek Doppler.....	107
F. Cepat Rambat Gelombang .....	108
G. Sumber Bunyi .....	109
Rangkuman.....	112
Evaluasi .....	113
Peta Konsep.....	118
<b>BAB VII CAYAHA DAN OPTIKA FISIS .....</b>	<b>119</b>
A. Optika Geometris .....	119
B. Optika Fisis .....	125
Rangkuman.....	133
Evaluasi .....	134
Peta Konsep.....	138
<b>BAB VIII ELEKTROSTATIKA DAN KAPASITOR .....</b>	<b>139</b>
A. Muatan Listrik .....	139
B. Hukum Coulomb.....	140
C. Medan Listrik .....	142

D. Energi Potensial Listrik dan Potensial Listrik .....	145
E. Kapasitor .....	149
Rangkuman .....	154
Evaluasi .....	156
Peta Konsep .....	160
<b>BAB IX MEDAN MAGNET .....</b>	<b>161</b>
A. Kemagnetan dan Medan Listrik .....	161
B. Hukum Ampere .....	164
C. Gaya Lorentz .....	166
D. Aplikasi Gaya Lorentz .....	171
Rangkuman .....	171
Evaluasi .....	172
Peta Konsep .....	177
<b>BAB X INDUKSI DAN ELEKTROMAGNETIK .....</b>	<b>179</b>
A. Gaya Gerak Listrik Induksi .....	179
B. Aplikasi Induksi Elektromagnetik .....	186
C. Induktansi dan Energi dalam suatu Induktor .....	189
Rangkuman .....	194
Evaluasi .....	195
<b>BAB XI RELATIFITAS .....</b>	<b>207</b>
A. Transformasi Koordinat .....	207
B. Eksperimen Michelson dan Morley .....	204
C. Postulat Einstein .....	215
D. Formulasi Teori Relativitas Khusus .....	215
Rangkuman .....	227
Evaluasi .....	229
Peta Konsep .....	235
<b>BAB XII PENGHANTAR FISIKA KUANTUM .....</b>	<b>237</b>
A. Sifat Gelombang Elektromagnetik .....	237
B. Radiasi Benda Hitam .....	238
C. Efek Fotolistrik .....	224

D. Efek Compton.....	248
Evaluasi.....	251
Peta Konsep.....	257
<b>BAB XIII RADIO AKTIFITAS .....</b>	<b>259</b>
A. Teori Atom .....	262
B. Transisi Atom .....	271
C. Stuktur Inti.....	276
D. Stabilitas Inti .....	278
E. Defek Massa.....	280
F. Reaksi Inti.....	282
EVALUASI .....	288
Peta konsep.....	293
<b>DAFTAR PUSATAKA .....</b>	<b>295</b>
<b>GLOSARIUM .....</b>	<b>297</b>

# **MOMENTUM SUDUT DAN ROTASI BENDA TEGAR**

## **Pendahuluan**

Dalam cabang ilmu fisika kita mengenal MEKANIKA.

Mekanika ini dibagi dalam 3 cabang ilmu yaitu :

- a. KINEMATIKA = Ilmu gerak  
Ilmu yang mempelajari gerak tanpa mengindahkan penyebabnya.
- b. DINAMIKA = Ilmu gaya  
Ilmu yang mempelajari gerak dan gaya-gaya penyebabnya.
- c. STATIKA = Ilmu keseimbangan  
Ilmu yang mempelajari tentang keseimbangan benda.

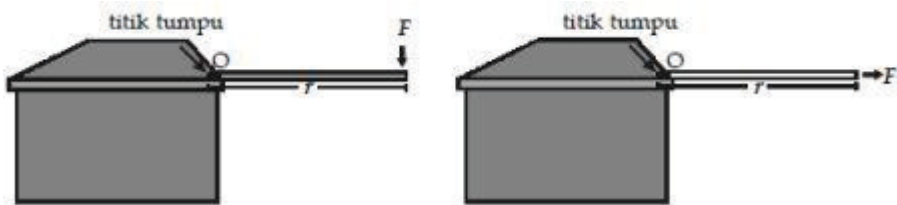
Untuk cabang kinematika dan dinamika sudah dipelajari dikelas satu dan dua. Pada bab ini kita akan membahas mengenai STATIKA. dan benda-benda yang ditinjau pada bab ini dianggap sebagai benda tegar.

## **A. MOMEN GAYA**

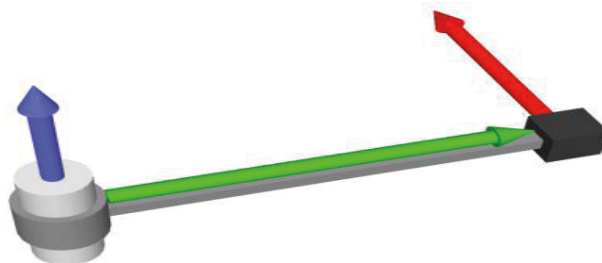
Pengertian momen gaya (torsi) dalam gerak rotasi, penyebab berputarnya benda merupakan momen gaya atau torsi. Momen gaya atau torsi sama dengan gaya pada gerak tranlasi. Momen gaya adalah sebuah besaran yang menyatakan besarnya gaya yang berkerja pada sebuah benda sehingga mengakibatkan benda tesebut berotasi. Besarnya momen gaya (torsi) tergantung pada gaya yang di keluarkan serta jarak antara sumbu putaran dan letak gaya. Apabila anda ingin membuat sebuah benda berotasi, anda harus memberikan



momengaya pada benda tersebut. Torsi disebut juga momen gaya dan merupakan besaran vektor. Untuk memahami momen gaya anda dapat melakukan hal berikut. Ambil satu penggaris, kemudian tumpukan salah satu ujungnya pada tepi meja. Dorong penggaris tersebut ke arah atas atau bawah meja. Bagaimana gerak penggaris? selanjutnya tarik penggaris tersebut sejajar dengan arah panjang penggaris, apakah yang terjadi?



Saat anda memberikan gaya  $F$  yang arahnya tegak lurus terhadap penggaris, penggaris itu cenderung untuk bergerak memutar. Namun, saat anda memberikan gaya  $F$  yang arahnya sejajar dengan panjang penggaris, penggaris tidak bergerak. Hal yang sama berlaku saat anda membuka pintu. Gaya yang anda berikan pada pegangan pintu, tegak lurus terhadap daun pintu sehingga pintu dapat bergerak membuka dengan cara berputar pada engselnya. Gaya yang menyebabkan benda dapat berputar menurut sumbu putarnya inilah yang dinamakan **momen gaya**. Torsi adalah hasil perkalian silang antara vektor, posisi dengan gaya  $F$  dapat dituliskan,



$$\tau = r \times F$$

- $\tau$  is the torque vector
- $r$  is the vector from the point from which torque is measured to the point where force is applied
- $F$  is the force vector
- $\times$  denotes cross product

Rumus torsi momen gaya

**Gambar 6.8** sebuah batang di kenai gaya sebesar yang tegak lurus terhadap batang dan berjarak sejauh  $r$  terhadap titik tumpu  $O$ . batang tersebut memiliki momen gaya

$$\tau = r \times F$$

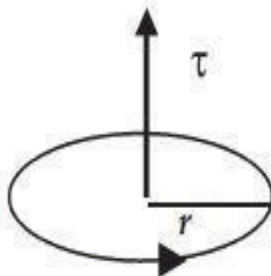
dengan

$r$  = lengan gaya = jarak sumbu rotasi ketitik tangkap gaya (M).

$F$  = gaya yang berkerja pada benda (N) , dan

$\tau$  = momen gaya (Nm).

Besaran momen gaya atau torsi tergantung pada besar gaya dan lengan gaya. Sedangkan arah momen gaya menuruti aturan putaran tangan kanan, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Jika arah putaran berlawanan dengan arah jarum jam maka arah momen gaya atau torsi keatas, dan bila arah putaran searah dengan arah putaran jarum jam maka, arah momen gaya kebawah. Perhatikan **gambar 6.9**. pada gambar tersebut tampak dua orang anak sedang bermain jungkat-jungkit dan berada dalam keadaan setimbang, walaupun berat anak tidak sama. Mengapa demikian? Hal ini berhubungan dengan lengan gaya yang digunakan. Anak yang lebih ringan berjarak 3 m dari titik tumpu ( $r_1 = 3\text{ m}$ ), sedangkan anak yang lebih berat memiliki lengan gaya lebih pendek, yaitu  $r_2 = 1,5\text{ m}$ . momen yang dihasilkan masing-masing anak adalah

$$\tau_1 = r_1 \times F_1$$

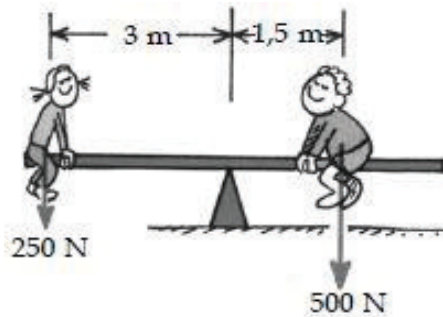
$$= (3\text{ m})(250\text{ N})$$

$$= 750\text{ Nm}$$

$$\tau_2 = r_2 \times F_2$$

$$= (1,5\text{ m})(500\text{ N})$$

$$= 750\text{ Nm}$$



**Gamabar 6.9** jungkat-jungkit setimbang karena momen gaya pada kedua lengannya sama besar. Dapat disimpulkan kedudukan setimbang kedua anak adalah akibat momen gaya kedua lengan sama besar.

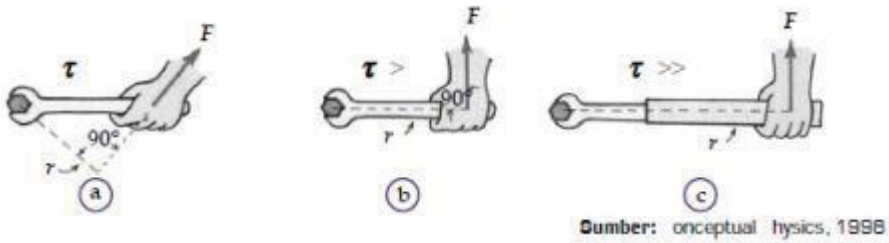


**gambar 6.10** momen gaya yang ditimbulkan oleh gaya yang membentuk sudut  $\theta$  terhadap benda ( lengan gaya=  $r$ ). Perhatikan **gambar 6.10** apabila gaya  $F$  yang bekerja pada benda membentuk sudut tertentu dengan lengan gayanya (  $r$  ), **persamaan ( 6-18)** akan berubah menjadi

$$\tau = rF\cos\theta.$$

Dari **persamaan 6-19** tersebut, anda dapat menyimpulkan bahwa gaya yang menyebabkan timbulnya momen gaya pada benda harus membentuk sudut  $\theta$  terhadap lengan gayanya. Momen gaya

terbesar diperoleh saat  $\theta = 90^\circ$  ( $\sin \theta = 1$ ), yaitu saat gaya dan lengan gaya saling bergerak lurus. Anda juga dapat menyatakan bahwa jika gaya searah dengan arah lengan gaya, tidak ada momen gaya yang ditimbulkan (benda tidak berotasi). perhatikan **gambar 6.11a dan 6.11b**



**Gambar 6.11** semakin panjang lengan gaya, momen gaya yang dihasilkan oleh gaya akan semakin besar.

Arah gaya terhadap lengan gaya menentukan besarnya momen gaya yang ditimbulkan. Momen gaya yang dihasilkan oleh besar  $F$  pada **gambar 6.11b** lebih besar dari momen gaya yang dihasilkan oleh besar gaya  $F$  yang sama pada gambar 6.11 a. Hal tersebut disebabkan sudut antara a gaya terhadap lengan gayanya. Momen gaya yang dihasilkan juga akan semakin besar jika lengan gaya semakin besar, seperti terlihat pada **gambar 6.11c**. dengan demikian dapat disimpulkan bahwa besar gaya  $F$  sama akan menghasilkan momen gaya yang lebih besar jika lengan gaya semakin besar. Prinsip ini dimanfaatkan oleh tukang pipa untuk membuka antar pipa. Sebagai besar vektor momen gaya  $\tau$  memiliki besar dan arah. Perajajian tanda untuk arah momen gaya adalah sebagai berikut.

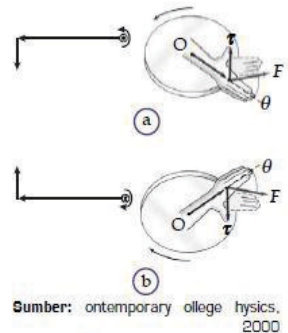


Contoh pemanfaatan torsi momen gaya pada pemuter baut

- Momengaya,  $\tau$ , di beri tanda negatif jika cenderung memutar benda searah putaran jarum jam, atau arah nya menjauhi pembaca.
- Momen gaya,  $\tau$ , di beri tanda negatif jika diberi tanda negatif jika cenderung memutar benda berlawanan arah putaran jarumjam, atau arah nya menjauhi pembaca.

**Gambar 6.12**

- Gaya yang menghasilkan momen gaya positif (mendekati pembaca) di tandai dengan titik.
- Gaya yang menghasilkan momen gaya negatif (menjauhi pembaca ) di tendai dengan tanda silang.



Perjanjian tanda untuk arah momen gaya dapat di jelaskan ini dapat di jelaskan dengan aturan tangan kanan, seperti yang di tunjukan pada **gambar 6.12**. arah jari jari merupakan arah lengan gaya, dan putaran jari meripakan arah gaya (searah putaran jarum jam atau berlawanan arah). Arah arah yang ditunjukkan oleh ibu jari anda merupakan arah momen gaya (mendekati atu menjauhi pembaca. Perhatikan **gambar 6.13**. jika pada benda berkerja beberapa gaya, momen gaya total benda tersebut adalah sebagai berikut. Besar  $\tau$  yang di timbulkan oleh  $F_1$  dan  $F_2$  terhadap titik O adalah  $\tau_1$  ,  $\tau_2$  dan  $\tau_3$ .  $\tau_1$  bernilai negatif karena arah rotasi yang ditimbulkan berlawanan arah putaran jarum jam.sedangkan,  $\tau_2$  bernilai positif karena arah rotasi yang ditimbulkanya searah putaran jarum jam. Resultan momen gaya benda itu terhadap titik O dinyatakan sebagai jumlah vektor dari setiap momen gaya. Secara matematis dituliskan

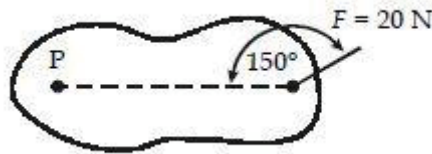
$$\tau_{total} = \Sigma(r \times F)$$

atau

$$\tau_{total} = \tau_1 + \tau_2$$

contoh soal momen gaya

1. Pada sebuah benda bekerja gaya 20N seperti pada gambar. Jika, titik tangkap gaya berjarak 25 cm dari titik p, berapakah besar momen gaya terhadap titik p?



Jawab :

Diket  $F = 20\text{N}$ ,  $r = 25\text{ cm}$  dan  $\theta = 150^\circ$

$$\begin{aligned}\tau &= r \times F \sin\theta \\ &= (0,25\text{ cm})(25\text{N}) (\sin 150) \\ &= (0,25\text{ cm})(25\text{ N})(1/2) \\ &= 2,5\text{ Nm}\end{aligned}$$

2. Sebuah gaya  $F = (3i+5j)\text{N}$  memiliki lengan gaya  $r = (4i+2j)\text{ m}$  terhadap suatu titik poros, vektor  $i$  dan  $j$  berturut-turut vektor satuan yang searah dengan sumbu-x dan sumbu-y pada koordinat kartesian. Berapakah besar momen gaya yang ditimbulkan gaya  $F$  terhadap titik poros?

Jawab:

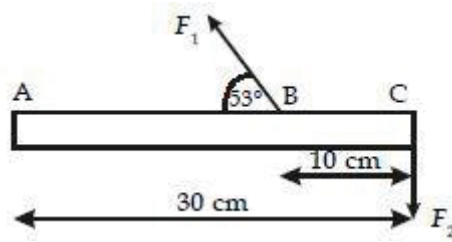
Diket  $F = (3i+5j)\text{N}$  dan  $r = (4i+2j)\text{m}$

$$\begin{aligned}\tau &= r \times F = (4i+2j)\text{m} \times (3i+5j)\text{N} = (4)(5)(k)\text{Nm} + (2)(3)(-k)\text{Nm} \\ &= 14\text{kNm}\end{aligned}$$

Jadi besaran besar momen gaya 14Nm yang searah sumbu Z.

3. Batang ac yang panjangnya 30 cm diberi gaya seperti terlihat pada gambar.





Jika  $bc = 10 \text{ cm}$  dan  $F_1 = F_2 = 20 \text{ N}$  berapakah momen gaya total terhadap titik a.

Jawab :

Dik  $r_1 = 20 \text{ cm}$ ,  $F_1 = F_2 = 20 \text{ N}$ ,  $r_2 = 30 \text{ cm}$ ,  $\theta_1 = 53^\circ$ ,  $\theta_2 = 90^\circ$

$$\tau = -r_1 F_1 \sin \theta_1 + r_2 F_2 \sin \theta_2$$

$$= -(0,2)(20)(\sin 53) + (0,3)(20)(\sin 90)$$

$$= -3,2 \text{ Nm} + 6 \text{ Nm}$$

$$= 2,8 \text{ Nm}$$

## B. TITIK BERAT

Titik berat suatu benda yaitu titik tangkap resultan semua gaya berat yang bekerja pada tiap bagian benda. Letak titik berat pada jenis-jenis benda adalah sebagai berikut:

- Benda teratur homogen, titik berat pada benda yang teratur terletak ditengah-tengahnya.
- Benda teratur yang merupakan gabungan benda teratur homogen,
- Benda teratur, letak titik berat untuk benda-benda teratur dinyatakan dalam table berikut.


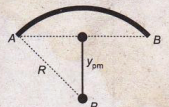
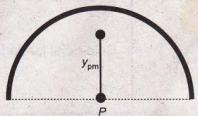
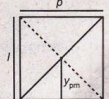
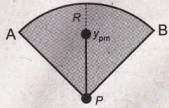
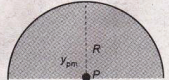
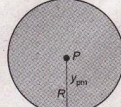
Secara umum, untuk menentukan letak titik berat suatu benda adalah  $(x,y)$  pada koordinat kartesius.

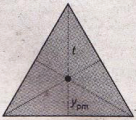
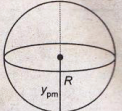

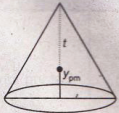
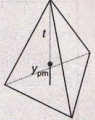
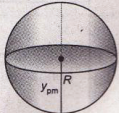
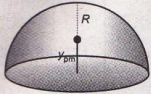
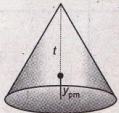
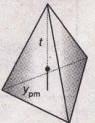
$$X = \frac{X_1.W_1 + X_2.W_2 + \dots + X_n.W_n}{W_1 + W_2 + \dots + W_n} \quad Y = \frac{Y_1.W_1 + Y_2.W_2 + \dots + Y_n.W_n}{W_1 + W_2 + \dots + W_n}$$

Dari persamaan di atas, nilai  $W$  dapat berubah sesuai kebutuhan. Artinya, ketiga perhitungan berhubungan dengan berat menggunakan persamaan  $W$ , ketika menggunakan pusat massa menggunakan  $m$ , dan plat homogen menggunakan persamaan luas ( $A$ ).

#### Benda teratur

Letak titik berat untuk benda-benda teratur dinyatakan dalam tabel berikut.

Jenis	Benda	Letak Titik Berat	Gambar
Batang	Batang lurus panjang $L$	$y_{pm} = \frac{1}{2} L$	
	Busur lingkaran jari-jari $R$	$y_{pm} = \frac{\overline{AB}}{\overline{AB}} R$	
	Busur setengah lingkaran dengan jari-jari $R$	$y_{pm} = \frac{2R}{\pi}$	
Pelat	Persegi dengan panjang $p$ lebar $l$	$y_{pm} = \frac{1}{2} l$	
Pelat	Juring (sektor) dengan jari-jari $R$	$y_{pm} = \frac{\overline{AB}}{\overline{AB}} (\frac{2}{3} R)$	
	Setengah lingkaran dengan jari-jari $R$	$y_{pm} = \frac{4R}{3\pi}$	
	Lingkaran dengan jari-jari $R$	$y_{pm} = R$	

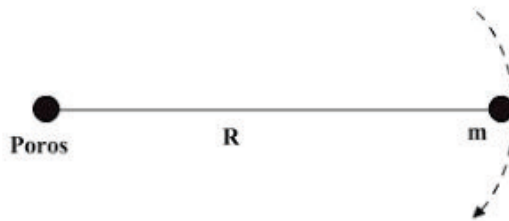
Jenis	Benda	Letak Titik Berat	Gambar
	Segitiga	$y_{pm} = \frac{1}{3} t$	
Kulit benda	Kulit bola dengan jari-jari $R$	$y_{pm} = R$	
	Kulit setengah bola (hemisfer) dengan jari-jari $R$	$y_{pm} = \frac{1}{2} R$	
	Kulit kerucut tinggi $t$	$y_{pm} = \frac{1}{3} t$	
	Kulit limas tinggi $t$	$y_{pm} = \frac{1}{3} t$	
Benda pejal	Bola pejal jari-jari $R$	$y_{pm} = R$	
	Setengah bola pejal jari-jari $R$	$y_{pm} = \frac{3}{8} R$	
	Kerucut pejal tinggi $t$	$y_{pm} = \frac{1}{4} t$	
	Limas pejal tinggi $t$	$y_{pm} = \frac{1}{4} t$	

## C. MOMEN INERSIA

### 1. Momen Inersia Titik Partikel

Dinotasikan dengan  $I$ , satuannya  $\text{kg.m}^2$  Momen inersia suatu partikel adalah hasil kali massa partikel dengan kuadrat jarak terhadap sumbu putarnya dan dirumuskan dengan:

$$I = m R^2$$



Jika titik masa partikel lebih dari satu maka momen inersianya dapat dihitung dengan rumus:

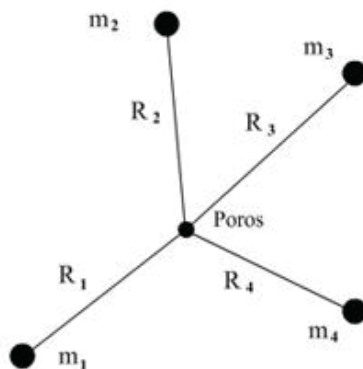
$$I = \sum m. R^2 = m_1. R_1^2 + m_2. R_2^2 + m_3. R_3^2 + \dots$$

dimana:

$I$  = momen inersia, satuannya  $\text{kg.m}^2$

$m$  = massa partikel, satuannya  $\text{kg}$

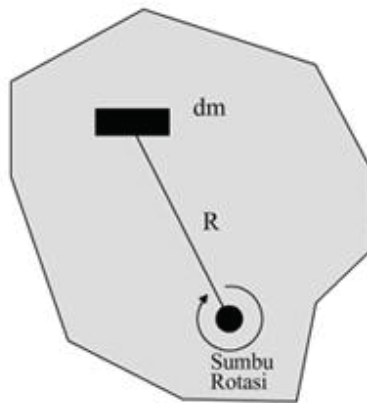
$r$  = jarak partikel terhadap sumbu putar, satuannya  $\text{m}$





## 2. Momen Inersia benda tegar

Perhatikan gambar berikut ini!



Sebuah elemen massa **dm** berjarak **r** terhadap sumbu rotasi. Apabila sebuah benda pejal terdiri dari distribusi materi yang kontinu, maka kita dapat menganggap benda terdiri dari sejumlah besar elemen massa **dm** yang tersebar merata. Momen Inersia benda adalah jumlah dari momen inersia semua elemen massa tersebut,  **$r^2 dm$** . Untuk **dm** yang jumlahnya banyak, penjumlahan menjadi sebuah integral.

$$I = \int r^2 dm$$

Dengan batas-batas integral yang dipilih sehingga mencakup seluruh benda.

Besar momen Inersia tergantung pada:

- ❖ Bentuk benda
- ❖ Massa benda
- ❖ Letak sumbu putarnya

Momen Inersia untuk berbagai bentuk benda:

### **a. Batang Homogen**

Diputar pada salah satu ujungnya:

$$I = \frac{1}{3} m.L^2$$

Diputar ditengah-tengahnya:

$$I = \frac{1}{12} m.L^2$$

Dimana:

m = massa batang, satuannya kg

L = panjang batang, satuannya m

### **b. Cincin**

Berongga poros di pusat

$$I = m R^2$$

Pejal poros di pusat

$$I = \frac{1}{2} m.R^2$$

Pejal diputar pada salah satu sisi

$$I = \frac{3}{2} m.R^2$$

Keterangan:

m = massa cincin, satuannya kg

R = jari-jari cincin, satuannya m

### **c. Silinder**

Silinder Berongga dengan poros melalui pusat

$$I = m R^2$$

Silinder Pejal dengan poros melalui pusat

$$I = \frac{1}{2} m.R^2$$



Silinder Berongga dengan 2 jari-jari dalam dan luar dengan poros melalui pusat

$$I = \frac{1}{2} m (R_1^2 + R_2^2)$$

dengan:

$m$  = massa silinder = kg

$R_2$  = Jari-jari luar = m

$R_1$  = Jari-jari dalam = m  
berongga atau pejal

$R$  = Jari-jari silinder

#### **d. Bola**

Bola Berongga dengan poros pusat bola

$$I = \frac{2}{3} m.R^2$$

Bola Pejal dengan poros pusat bola

$$I = \frac{2}{5} m.R^2$$

Selanjutnya untuk mencari momen inersia dari benda-benda yang bentuknya seperti di atas tetapi dengan sumbu putar pada jarak  $L$  dan sejajar dengan sumbu mula-mula, melalui poros massa, dapat digunakan rumus sumbu sejajar:

$$I = I_0 + M L^2$$

dengan

$I$  = Momen Inersia yang baru dalam  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$

$I_0$  = momen inersia dengan poros melalui pusat massa dalam  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$

$M$  = massa benda dalam kg

$L$  = jarak sumbu mula-mula melalui pusat massa dengan yang baru dalam m

#### D. ENERGI KINETIK ROTASI

Energi kinetik rotasi sebuah benda pejal dapat diturunkan dari energi kinetik translasi sebagai berikut:

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

dengan

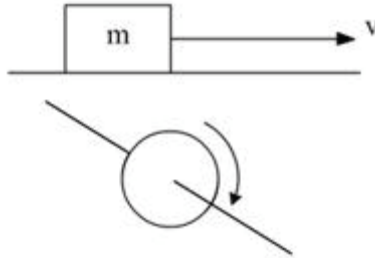
$m$  = massa benda dalam kg;

$v$  = kecepatan linier benda dalam  $m/s^2$

$E_k$  = energi kinetik benda dalam joule.

Mengingat  $v = \omega R$  maka

$$E_k = \frac{1}{2} m (\omega R)^2 = (mR^2) \omega^2$$



Karena  $mR^2$  adalah momen inersia maka rumus energi kinetik rotasi dapat dirumuskan sebagai:

$$E_{k \text{ rot}} = \frac{1}{2} I \omega^2$$

dengan:

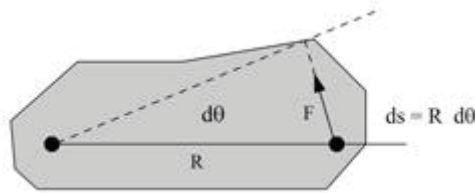
$E_{k \text{ rot}}$  = energi kinetik rotasi dalam joule

$I$  = momen inersia benda dalam  $kg.m^2$

$\omega$  = kecepatan sudut dalam rad/s

## 1. Usaha dalam Gerak Rotasi

Perhatikan gambar berikut ini !



Sebuah gaya  $F$  bekerja pada jarak  $R$  dari sumbu putar benda.

Usaha yang dilakukan oleh sebuah momen gaya yang bekerja untuk merotasikan sebuah benda tegar sejauh  $d\theta$  dapat diperoleh dari rumus gerak linier sebagai berikut:

$W = F \cdot s = F \cdot R d\theta$ ; karena  $F \cdot R$  adalah momen gaya maka:

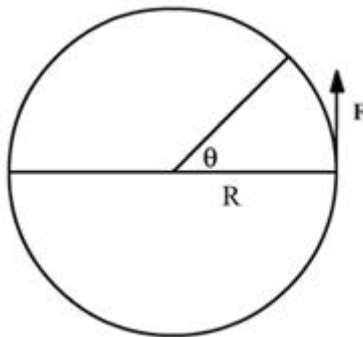
$$W = \tau d\theta$$

dengan

$W$  = usaha gerak rotasi dalam joule

$\tau$  = momen gaya dalam  $\text{kg} \cdot \text{m}$

$\theta$  = sudut yang dibentuk dalam rad



Dalam gerak rotasi sebuah momen gaya melakukan kerja pada benda dan mengubah energi kinetik rotasinya sesuai dengan hubungan

$$W = \tau \theta = E_{k \text{ rot } 2} - E_{k \text{ rot } 1} = \frac{1}{2} I \omega_2^2 - \frac{1}{2} I \omega_1^2$$



Pada gerak rotasi juga berlaku hukum kekekalan energi mekanik jika resultan gaya luar sama dengan nol yaitu :

$$E_p + E_{k \text{ tran}} + E_{k \text{ rot}} = \text{tetap}$$

$$E_{p1} + E_{k \text{ tran } 1} + E_{k \text{ rot } 1} = E_{p2} + E_{k \text{ tran } 2} + E_{k \text{ rot } 2}$$

atau

$$\Delta E_p = \Delta E_{k \text{ tran}} + \Delta E_{k \text{ rot}}$$

dengan

$\Delta E_p$  = perubahan energi potensial

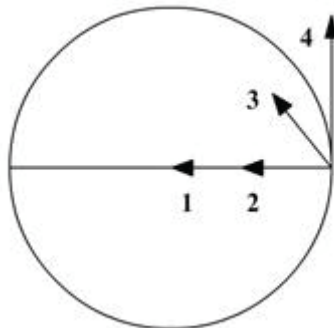
$\Delta E_{k \text{ tran}}$  = perubahan energi kinetik translasi

$\Delta E_{k \text{ rot}}$  = perubahan energi kinetik rotasi

Hukum Kekekalan Momentum Sudut

## E. MOMENTUM SUDUT

Dinotasikan dengan L, satuannya  $\text{kg.m}^2/\text{s}$



Pada gerak rotasi momen inersia  $I$  merupakan analogi dari massa  $m$  dan  $\omega$  merupakan analogi dari kecepatan linier  $v$ , maka rumus momentum sudut untuk gerak rotasi dapat dituliskan:

$$p = m.v \text{ dan } v = \omega.r$$

maka dihasilkan

Dengan  $L$  = momentum sudut dalam  $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$  ;  $I$  = momen inersia dalam  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$  dan  $\omega$  = kecepatan sudut dalam  $\text{rad/s}$ .

Momentum sudut merupakan besaran vektor, maka arah dari momentum sudut dari sebuah benda berotasi adalah seperti berikut:

### 1. Hubungan momentum sudut dengan momen gaya

Analogi dengan hubungan impuls dan momentum maka hubungan momentum sudut dengan momen gaya dapat diperoleh :

$$\tau dt = dL \text{ atau}$$

$$\tau = \frac{dL}{dt}$$

dengan  $\tau$  = momen gaya dan  $dL/dt$  adalah turunan dari momentum sudut terhadap waktu

### 2. Hukum Kekekalan Momentum Sudut

Bila tidak ada gaya dari luar yang bekerja pada benda ( $\tau = 0$ ) maka berlaku hukum kekekalan momentum sudut yaitu :

#### A. Untuk satu benda

$$\begin{aligned} L_1 &= L_2 \\ I_1 \omega_1 &= I_2 \omega_2 \end{aligned}$$

$I_1$  = momen inersia keadaan 1,  $\omega_1$  = kecepatan sudut keadaan 1,  $L_1$  = momentum sudut keadaan 1

$I_2$  = momen inersia keadaan 2,  $\omega_2$  = kecepatan sudut keadaan 2,  $L_2$  = momentum sudut keadaan 2

### **B. Untuk dua benda**

$I_1 \cdot \omega_1 + I_2 \cdot \omega_2 = (I_1 + I_2) \omega$  Bila arah gerak searah

$I_1 \cdot \omega_1 - I_2 \cdot \omega_2 = (I_1 + I_2) \omega$  Bila arah gerak berlawanan arah

$I_1$  = momen inersia benda 1 dalam  $\text{kg.m}^2$ ;  $\omega_1$  = kecepatan sudut benda 1 dalam rad/s

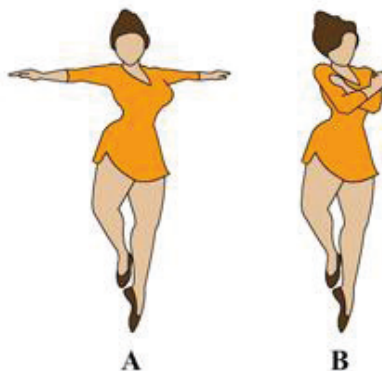
$I_2$  = momen inersia benda 2 dalam  $\text{kg.m}^2$ ;  $\omega_2$  = kecepatan sudut benda 2 dalam rad/s

$\omega$  = kecepatan sudut benda gabungan benda 1 dan benda 2 dalam rad/s

## **F. GERAK MENGGELINDING**

Penerapan dari hukum kekekalan momentum sudut adalah :

- ❖ Peloncat indah
- ❖ Penari ballet
- ❖ Kursi putar





Penari ballet berputar perlahan saat membentangkan tangannya. Ketika sang penari melipat tangannya di dada kecepatan putarannya bertambah, dan membentangkan kembali tangannya saat akan berhenti dari putaran. Pada kejadian ini berlaku hukum kekekalan momentum yaitu momentum sudut saat membentangkan sama dengan momentum sudut saat melipat tangannya.

Gerak menggelinding terjadi bila sebuah benda melakukan dua macam gerakan secara bersamaan yaitu gerak translasi dan gerak rotasi.

Contoh gerak menggelinding.

Pada sebuah roda bekerja gaya sebesar  $F$ , benda bergerak pada bidang kasar. Dalam hal ini ada dua jenis gerakan, yaitu : gerak translasi dan gerak rotasi.

*Gerak rotasi berlaku:*

$$= I \quad f_{\text{ges}} \cdot R = I$$

$$a = \frac{f_{\text{ges}} \cdot R^2}{I}$$

Keterangan:

$a$  = percepatan dalam  $\text{m/s}^2$

$f_{\text{ges}}$  = gaya gesekan dalam Newton (N)

$R$  = jari-jari roda dalam m

$I$  = momen kelembaman dalam  $\text{kg.m}^2$

- Gerak translasi berlaku:

$$\Sigma F = m \cdot a$$

$$F - f_{\text{ges}} = m \cdot a$$

$$a = \frac{F - f_{ges}}{m}$$

Keterangan:

$F$  = Gaya luar dalam newton (N)

$m$  = massa benda dalam kg

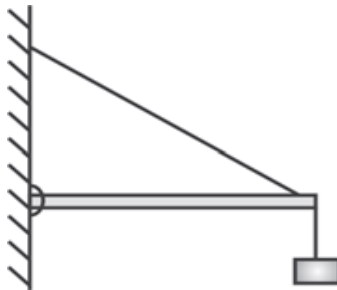
Pada gerak menggelinding berlaku hukum kekekalan energi mekanik

$$E_k = E_{k_{rot}} + E_{k_{trans}} = \frac{1}{2} I \cdot \omega^2 + \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

## SOAL EVALUASI

- Perhatikan gambar di samping! Batang homogeny AB panjangnya 80 cm dengan berat 18 N, berat beban 30 N, dan BC adalah tali. Jika jarak AC = 60 cm, maka besarnya tegangan pada tali adalah ....

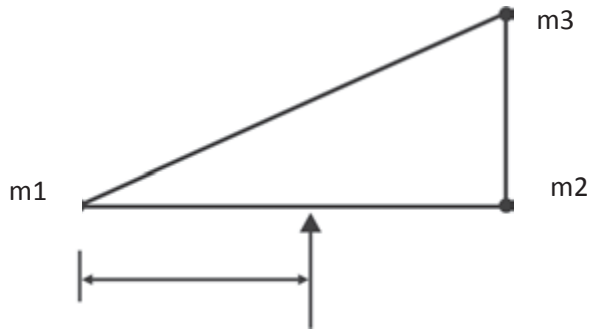
- 36 N
- 48 N
- 50 N
- 65 N
- 80 N



- Pada gambar di samping dilukiskan suatu segitiga siku-siku yang sangat ringan, tetapi kuat. Di titik sudutnya ada massa  $m_1$ ,  $m_2$ , dan  $m_3$  masing-masing bearnya 100 gram, 100 gram, dan 300 gram. Jarak antara  $m_1$  dan  $m_2$ ,  $m_2$  dan  $m_3$  masing-masing 40 cm dan 30 cm. Gaya  $F$  mengenai tegak lurus pada kerangka  $m_1 m_2$

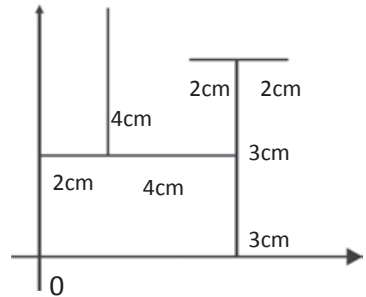
dengan jarak  $x$  dari  $m_1$ . Gaya  $F$  sebidang dengan bidang kerangka. Agar titik bergerak translasi murni (tanpa rotasi) besar  $x$  adalah ....

- 20 cm
- 30 cm
- 32 cm
- 38 cm
- 40 cm



- Perhatikan gambar di samping! Letak titik berat dari bangun tersebut adalah ....

- $X = 6 \text{ cm}$ ;  $Y = 4 \text{ cm}$
- $X = 4 \text{ cm}$ ;  $Y = 6 \text{ cm}$
- $X = 4,3 \text{ cm}$ ;  $Y = 4 \text{ cm}$
- $X = 4 \text{ cm}$ ;  $Y = 4,3 \text{ cm}$
- $X = 3 \text{ cm}$ ;  $Y = 3 \text{ cm}$



- Sumbu kedua roda muka dan sumbu kedua roda belakang sebuah truk yang bermassa 1.500 kg berjarak 2 m. Pusat massa truk 1,5 m di belakang roda muka. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , beban yang dipikul oleh kedua roda muka truk itu sama dengan ....

- 1.250 N
- 2.500 N
- 3.750 N
- 5.000 N
- 6.250 N

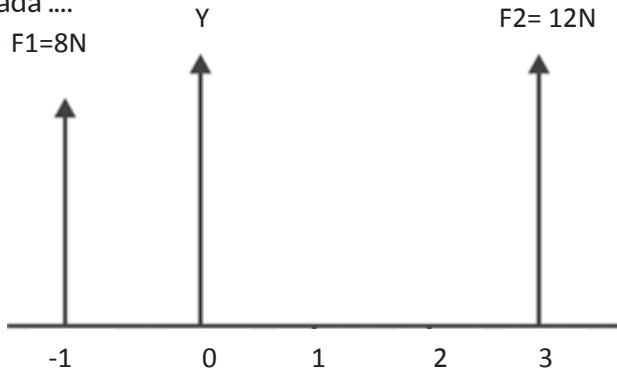
- Dari keadaan diam, benda tegar melakukan gerak rotasi dengan percepatan sudut  $15 \text{ rad/s}^2$ . Titik A berada pada benda tersebut

berjarak 10 cm dari sumbu putar. Tepat setelah benda berotasi selama 0,4 sekon. A mengalami percepatan total sebesar ....

- 1,5 m/s<sup>2</sup>
- 2,1 m/s<sup>2</sup>
- 3,6 m/s<sup>2</sup>
- 3,9 m/s<sup>2</sup>
- 5,1 m/s<sup>2</sup>

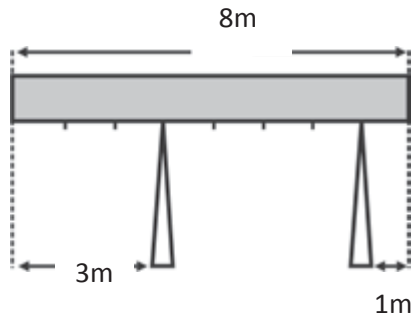
6. Perhatikan gambar diagram di samping! Resultan kedua gaya sejajar terletak pada ....

- $X = +0,6 \text{ m}$
- $X = 2,8 \text{ m}$
- $X = +1,4 \text{ m}$
- $X = +1,2 \text{ m}$
- $X = +2,1 \text{ m}$



7. Perhatikan gambar di samping! Balok kayu homogeny pada gambar memiliki panjang 8 m dan berat 2.000 N berada di atas dua buah tiang penyangga A dan B. Besar beban yang dirasakan oleh titik A adalah ....

- 60 N
- 90 N
- 120 N
- 150 N
- 180 N



8. Sebuah gaya  $F = (5\mathbf{i} + 4\mathbf{j})$  memiliki lengan momen  $d (a\mathbf{i} + 2\mathbf{j})$  terhadap suatu titik poros. Vektor  $\mathbf{i}$  dan  $\mathbf{j}$  berturut-turut adalah vektor satuan yang searah dengan sumbu  $X$  dan  $Y$  pada koordinat kartesian. Jika besar momen yang dilakukan gaya  $F$  terhadap titik poros bernilai  $Nm$ , maka nilai  $a$  sama dengan....
- 3
  - 4
  - 7
  - 8
  - 9
9. Besaran vektor yang merupakan perkalian antargaya dengan jarak titik terhadap gaya disebut ....
- benda tegar
  - momen inersia
  - massa benda
  - rotasi benda
  - bola berongga
10. Sebuah batang diputar dengan sumbu putar terletak pada jarak  $1/3$  dari salah satu ujungnya. Bila massa batang  $m$  dan panjang batang  $l$ , maka momen inersianya adalah ....
- $\frac{1}{2} ml^2$
  - $\frac{1}{3} ml^2$
  - $\frac{1}{6} ml^2$
  - $\frac{1}{7} ml^2$
  - $\frac{1}{9} ml^2$

# FLUIDA



Gaya angkat pesawat terbang bukan karena mesin, tetapi pesawat bisa terbang karena memanfaatkan hukum bernoulli yang membuat laju aliran udara tepat di bawah sayap, karena laju aliran di atas lebih besar maka mengakibatkan tekanan di atas pesawat lebih kecil daripada tekanan pesawat di bawah. Akibatnya terjadi gaya angkat pesawat dari hasil selisih antara tekanan di atas dan di bawah di kali dengan luas efektif pesawat.

### Indikator pencapaian kompetensi :

- 1) Mengidentifikasi jenis-jenis fluida dalam kehidupan sehari-hari lalu mengelompokkan berdasarkan cabang-cabangnya.
- 2) Menggunakan prinsip-prinsip yang termasuk dalam fluida
- 3) Memahami rumus dan dapat menyelesaikan latihan maupun evaluasi.

Fluida dapat disebut juga sebagai zat alir, atau lebih lengkapnya disebut zat yang dapat mengalir. Kita ketahui bahwa zat atau benda

terbagi menjadi tiga jenis yakni padat, cair dan gas. Tetapi hanya cair dan gas yang merupakan fluida.

Fluida digolongkan menjadi dua jenis yaitu: Fluida Statis dan Fluida Dinamis. Fluida statis adalah fluida dalam keadaan diam sedangkan fluida dinamis adalah fluida dalam keadaan bergerak.

## A. Fluida Statis

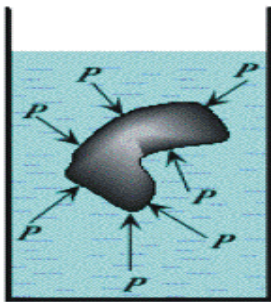
Berikut adalah beberapa hal yang dipelajari dalam fluida statis yaitu:

### 1. Tekanan Hidrostatik

Tekanan Hidrostatik adalah tekanan pada zat cair yang diam sesuai dengan namanya (*hidro*: air dan *statik*: diam). Atau lebih lengkapnya Tekanan Hidrostatik didefinisikan sebagai tekanan yang diberikan oleh cairan pada kesetimbangan karena pengaruh gaya gravitasi.

Hal ini berarti setiap benda yang berada pada zat cair yang diam, tekanannya tergantung dari besarnya gravitasi. Adapun hal yang mempengaruhi besarnya tekanan hidrostatik yaitu kedalaman/ketinggian dan massa jenis zat cair.

Benda dalam bejana



$$P = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A}$$

karena (massa)  $m = \rho V$

$$P = \frac{\rho V g}{A}$$

dan (volume)  $V = A \cdot h$

$$P = \frac{\rho A h \cdot g}{A}$$

$$P = \rho g h$$

Dari Penjelasan penurunan rumus tekanan hidrostatik di atas, diperoleh kesimpulan beberapa hal:

- Volume tidak mempengaruhi besarnya tekanan hidrostatik

- b. Besarnya tekanan hidrostatik dipengaruhi oleh kedalaman, gravitasi dan massa jenis zat cair (fluida)

Sehingga rumus tekanan hidrostatik fluida statis adalah:

$$P = \rho gh$$

Ket:

$\rho$  = massa jenis zat ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

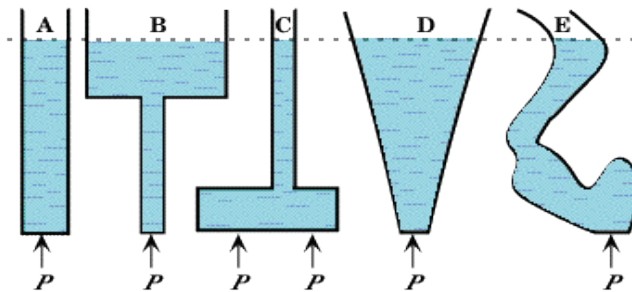
$h$  = kedalaman/ketinggian (m)

**Catatan:**

Massa jenis air =  $1000 \text{ kg/m}^3$  atau  $1 \text{ gr/cm}^3$

Massa jenis raksa =  $13600 \text{ kg/m}^3$  atau  $13,6 \text{ gr/cm}^3$

Karena volume tidak berpengaruh pada besarnya tekanan hidrostatik, maka apapun bentuk wadahnya jika kedalamannya sama akan menghasilkan tekanan hidrostatik yang sama pula. Seperti diperlihatkan gambar berikut:



gambar: <http://faculty.wvu.edu>

## 2. Tekanan Mutlak

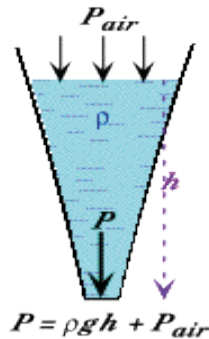
Tekanan mutlak merupakan tekanan total hasil penjumlahan tekanan hidrostatik dengan tekanan atmosfer (udara). Seperti ditunjukkan rumus berikut

$$P = P_{\text{atm}} + \rho gh$$



Bukan hanya zat cair saja, namun udarapun memiliki tekanan yang disebut tekanan atmosfer (udara), sehingga jika dihitung secara total antara tekanan udara yang menekan zat cair dalam wadah tentu akan semakin besar.

Perhatikan gambar berikut:  $P_{air}$  maksud (air = udara).



gambar: <http://faculty.wvu.edu>

Perlu diketahui bahwa dalam keadaan normal 1 atm (satu atmosfer) =  $10^5$  Pascal (\*=pangkat).

#### Contoh Soal:

Pada kedalaman 10.000 m, besar tekanan hidrostatik adalah? (massa jenis air laut =  $1,025 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$ )...

Dengan menggunakan rumus tekanan hidrostatik di atas maka jawabannya adalah:

$$P = 1.025 \times 10^3 (10) (10.000) = 1,025 \times 10^8 \text{ atau setara dengan } 10^3 \text{ atm}$$

Aplikasi dalam kehidupan sehari-hari:

Kapal selam adalah contoh penerapan tekanan hidrostatik. Karena manusia tidak mampu menyelam terlalu dalam dibuatlah kapal selam yang terbuat dari bahan yang sangat kokoh dan kuat serta memiliki bentuk hampir bulat. Hal ini dimaksudkan untuk mengatasi besarnya tekanan hidrostatik di dalam kapal selam.

### 3. Asas Bejana Berhubungan

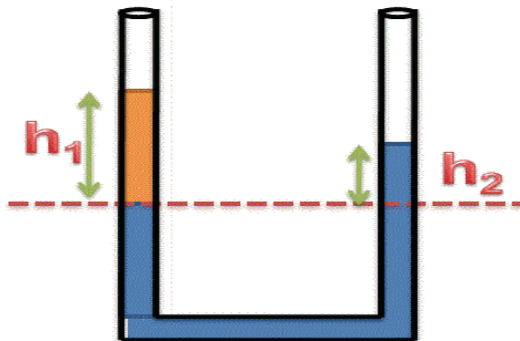
Asas bejana berhubungan merupakan suatu peristiwa dimana jika terdapat bejana bejana berhubungan diisi oleh zat cair yang sama dan dalam keadaan setimbang, maka tinggi permukaan zat cair pun sama dan bejana terletak pada sebuah bidang datar.

Seperti halnya sebuah teko yang diisi air, meskipun mulut teko yang berbeda bentuk namun permukaan air tetap terlihat mendatar tidak mengikuti bentuk teko itu sendiri.

ketika pada pipa kapiler atau bejana berhubungan diisi zat cair yang berbeda maka akan terjadi pada zat cair tersebut akan memiliki tinggi permukaan yang berbeda pula, dimana ketinggiannya tergantung dari massa jenis zat cair tersebut. Zat cair dengan massa jenis lebih besar akan berada pada posisi paling bawah dibandingkan dengan zat cair yang memiliki massa jenis lebih kecil.

Misalkan kita campurkan minyak dan air. Dua zat tersebut tidak akan saling bercampur. karena air memiliki massa jenis  $1000 \text{ kg/m}^3$  dan lebih besar dari minyak sebesar  $800 \text{ kg/m}^3$  maka posisi minyak berada di atas air.

Perhatikan gambar berikut: Pipa U diisi oleh zat cair yang berbeda memiliki ketinggian yang beda.



Persamaan untuk kasus ini, berlaku tekanan hidrostik. Dimana tekanan pada bejana, tekanan zat cair akan sama pada ketinggian yang sama.

$$p_1 = p_2$$

$$\rho_1 \cdot g \cdot h_1 = \rho_2 \cdot g \cdot h_2$$

Dengan  $g$  yang sama, maka persamaannya menjadi:

$$\rho_1 \cdot h_1 = \rho_2 \cdot h_2$$

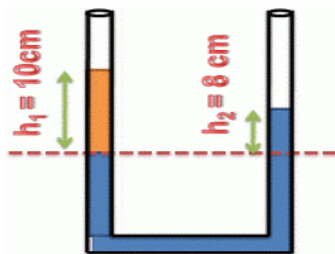
Asas bejana berhubungan tidak berlaku disebabkan:

- 1) Pada bejana diisi oleh zat cair dengan massa jenis berbeda
- 2) Bejana dalam keadaan tertutup, baik salah satu bejana maupun keduanya.
- 3) Adanya unsur pipa kapiler pada bejana, yaitu pipa kecil yang memungkinkan air menaiki sisi bejana.

Aplikasi dalam kehidupan sehari-hari dapat digunakan pada :

- 1) Air di dalam teko,
- 2) Alat pengukur kedataran suatu permukaan (*water pass*)
- 3) Penyaluran air melalui selang pada tempat dengan ketinggian yang sama.

**Contoh Soal:**



Sebuah bejana berbentuk pipa U berisi air dan zat cair lainnya dengan ketinggian yang berbeda, seperti terlihat pada gambar. Jika

massa jenis air  $1 \text{ gr/cm}^3$ , berapakah massa jenis zat cair yang lain tersebut?

Jawab:

$$1. 8 = x \cdot 10x = 8/10 = 0,8 \text{ gr/cm}^3$$

#### 4. Hukum Pascal

Beberapa penelitian ilmiah paling awal pada tekanan dalam cairan dilakukan oleh matematikawan dan fisikawan Perancis bernama Blaise Pascal (1623-1662). Satuan SI dari tekanan, Pascal (Pa), adalah nama untuk dia karena penelitian pentingnya. Salah satu kontribusi besar Pascal dikenal sebagai Hukum Pascal. Hukum ini menyatakan bahwa

*Perubahan tekanan pada setiap titik dalam fluida tertutup disebarkan sama pada seluruh cairan ke segala arah.*

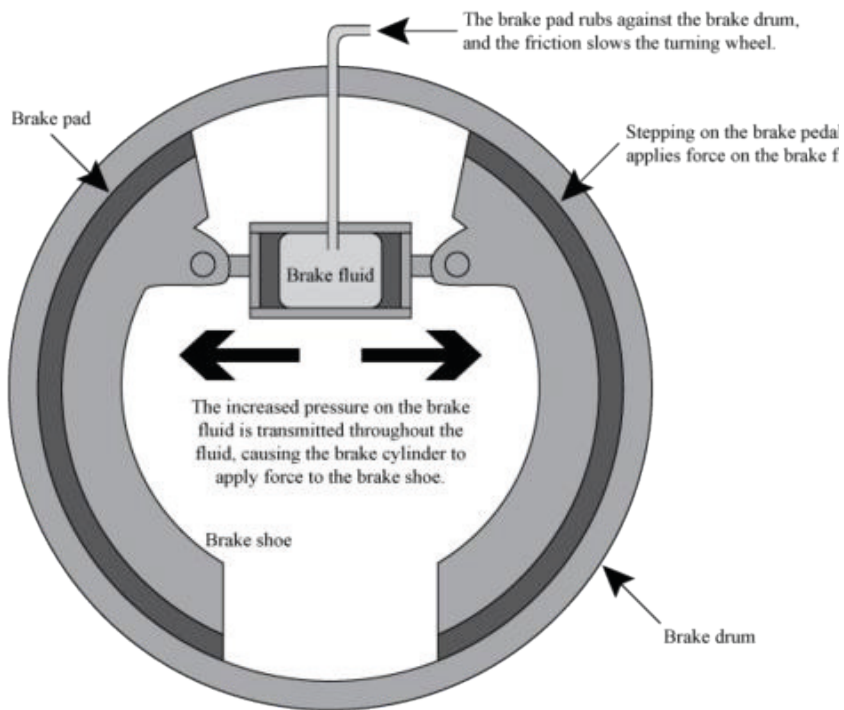
Contoh Hukum Pascal Dalam Kehidupan Sehari-hari



gambar: ck-12.org

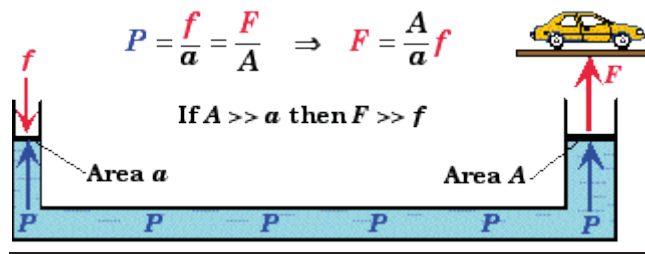
Sebuah contoh sederhana dapat membantu kita memahami hukum Pascal. Pasta gigi adalah cairan yang tertutup dalam tabung dengan lubang kecil di salah satu ujung. Lihatlah tabung pasta gigi seperti gambar di samping ini. Ketika setiap bagian dari tabung diperas menyemprotkan pasta gigi, keluar dari ujung terbuka. Tekanan diberikan pada tabung dan ditransmisikan secara merata ke seluruh pasta gigi. Ketika tekanan mencapai ujung terbuka, kemudian memaksa pasta gigi keluar melalui lubang tersebut.

Contoh lain betapa bergunanya hukum pascal adalah prinsip kerja rem hidrolik dalam kendaraan bermotor seperti mobil. Rem hidrolik dalam mobil menggunakan cairan untuk mengirimkan tekanan, gaya yang diberikan pada pedal akan diteruskan ke silinder utama yang berisi minyak rem. Selanjutnya, minyak rem tersebut akan menekan bantalan rem yang dihubungkan pada sebuah piringan logam sehingga timbul gesekan antara bantalan rem dengan piringan logam. Gaya gesek ini akhirnya akan menghentikan putaran roda.



gambar: ck-12.org

Selain itu dapat juga digunakan dalam dongkrak hidrolik. Dongkrak digunakan untuk mengangkat mobil yang akan dicuci menggunakan hukum pascal. Seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini. Saat kita mendorong salah satu piston dengan gaya  $F$  maka fluida didalamnya tertekan kemudian menyebarkan tekanan dengan merata ke segala arah, sehingga mampu menekan piston lain yang ditumpangi mobil yang kemudian terangkat.



gambar: faculty.wvu.edu

Begitupun dengan suntikan, kita memberikan tekanan pada salah satu ujung suntikan kemudian cairan keluar melalui ujung tajam jarum suntikan tersebut. Masih banyak contoh lainnya

Semua contoh penerapan diatas memenuhi persamaan hukum pascal sebagai berikut:

$$P_1 = P_2$$

$$F_1/A_1 = F_2/A_2$$

**Keterangan:**

P = Tekanan (Pascal)

F = Gaya (N)

A = Luas Permukaan ( $m^2$ ) \*

\* Suntikan memiliki luas penampang sama dengan permukaan lingkaran

**Contoh Soal:**

Alat pengangkat mobil yang memiliki luas pengisap masing-masing sebesar  $0,10 \text{ m}^2$  dan  $2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  digunakan untuk mengangkat mobil seberat  $10^4 \text{ N}$ . Berapakah besar gaya yang harus diberikan pada pengisap yang kecil?

Jawab:

$$F_1/A_1 = F_2/A_2$$

$$10^4/0,1 = F_1/2 \times 10^{-4}$$

$$100.000 = F_1/2 \times 10^{-4}$$

$$F_1 = 20 \text{ N}$$

## 5. Hukum Archimides

Hukum Archimides yang berbunyi:

" Jika sebuah benda dicelupkan sebagian atau seluruhnya ke dalam zat cair, maka akan terdapat air yang tumpah karena gaya angkat fluida yang sama dengan berat benda yang tercelup tersebut "

Hukum Archimides ini menjadi patokan dalam penggunaan kapal selam atau balon udara. Kita juga mengenal bahwa dalam hukum archimides dijelaskan mengapa benda tenggelam, melayang atau mengapung.

Saat tenggelam berarti massa jenis benda lebih besar dari pada massa jenis fluida. Benda melayang berarti massa jenis benda sama dengan massa jenis fluida dan benda mengapung karena massa jenis benda lebih kecil dibandingkan massa jenis fluida.

Selain itu dengan Hukum Archimides kita bisa menentukan mengapa berat benda di udara lebih berat jika dibandingkan berat di air. Hal ini karena pengaruh dari gaya angkat ke atas pada benda saat dalam fluida lebih besar.

Secara matematis bisa dituliskan bahwa

$$W \text{ di air} = W \text{ di udara} - F_A \text{ (Gaya Angkat Ke Atas)}$$

## 6. Tegangan Permukaan

### a. Tegangan Permukaan

Tegangan Permukaan merupakan gaya yang diakibatkan oleh suatu benda yang bekerja pada permukaan zat cair sepanjang

permukaan yang menyentuh benda itu. egangan permukaan zat cair diakibatkan karena gaya yang bekerja pada zat cair tersebut.

Dalam keadaan diam, permukaan zat cair akan membuat gaya tarik ke segala arah, kecuali ke atas. Hal itulah yang menyebabkan adanya tegangan permukaan.

Oleh karena itu tegangan permukaan memiliki persmaan sebagai berikut:

$$Y = F/d$$

dimana  $d = 2L$

$$\text{Sehingga } Y = F/2L$$

Keterangan:

$Y$  = Tegangan Permukaan (N/m)

$F$  = Gaya (N)

$L$  = Panjang (m)

$d$  = tempat dimana gaya itu bekerja

Aplikasi Tegangan Permukaan dalam kehidupan sehari-hari:



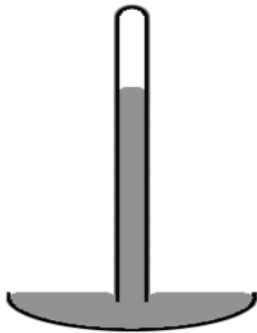
gambar: wikipedia

Tegangan permukaan berhubungan dengan peristiwa yang disebut kohesi (gaya tarik menarik antara molekul sejenis) dan adhesi (gaya tarik menarik antara molekul tidak sejenis). Lihatlah klip kertas diatas yang berada diatas air dan tidak tenggelam meskipun memiliki massa jenis lebih besar dibandingkan dengan massa jenis air



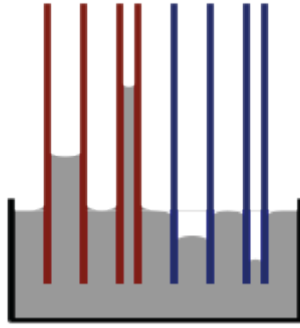
## b. Kapilaritas

Peristiwa kapilaritas adalah naik turunnya permukaan zat cair melalui pipa kapiler. kapilaritas terjadi karena gaya kohesi dari tegangan permukaan dan gaya adhesi antara zat cair dan tabung kaca.



Seperti sebuah barometer dengan pipa kapiler yang sebagian diisi dengan air raksa, dan sebagian lagi rruang hampa udara (vakum). Perhatikan bahwa ketinggian air raksa di pusat tabung lebih tinggi dari pada tepi, membuat permukaan atas dari raksa berbentuk kubah. Pusat massa dari seluruh kolom air raksa akan sedikit lebih rendah jika permukaan atas raksa yang datar selama *crossection* seluruh tabung.

Namun dengan berbentuk kubah memberikan luas permukaan sedikit kurang untuk seluruh massa raksa. Hal ini berguna untuk meminimalkan energi potensial total. Bentuk permukaan kubah diatas dikenal sebagai meniskus cembung. Jika sudut kontak antara cairan dengan tabung kapiler lebih dari 90 derajat maka bentuk permukaan cairan tertekan ke bawah yang disebut meniskus cekung. Perhatikan gambar di bawah ini:



warna merah sudut kontak kurang dari 90 derajat, warna biru sudut lebih dari 90 derajat, (wikipedia)

Adapun rumus/persamaan menghitung tinggi rendahnya atau naik turunnya permukaan zat cair pada pipa kapiler adalah:

$$h = \frac{2\gamma_{la} \cos \theta}{\rho g r}$$

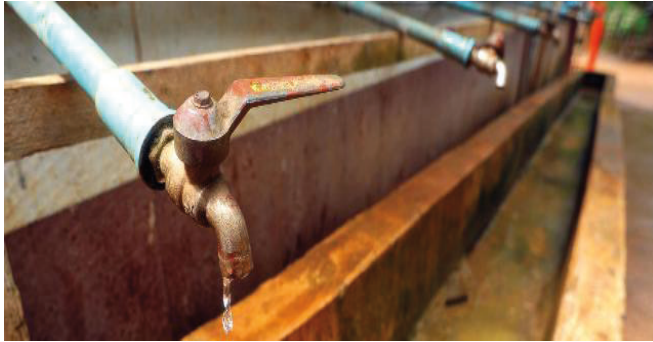
**Keterangan:**

$h$ = tinggi permukaan zat cair (m)  $\gamma_{la}$ = tegangan permukaan (N/m)  $\rho$ = massa jenis zat cair ( $\text{kg/m}^3$ )  $r$ = jari-jari (m)  $g$ = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )  $\theta$ = sudut kontak. Jika  $\theta$  lebih besar dari  $90^\circ$ , cairan akan tertekan kebawah membentuk meniskus cekung.

## B. Fluida Dinamis

### 1. Debit Air

Fluida dinamis merupakan fluida dalam keadaan bergerak. Seperti halnya yang sering kita lihat air kran yang mengisi bak mandi, atau air terjun, dan banyak lainnya.



Debit air adalah jumlah air yang mengalir setiap waktu atau boleh diartikan banyaknya volume air yang mengalir setiap waktu.

Berdasarkan pengertian diatas, rumus empiris dari debit air adalah:

$$Q = V/t$$

**Ket:**

$Q$  = Debit Air ( $m^3/s$ )

$V$  = Volume ( $m^3$ )

$t$  = waktu (s)

Jika kita hubungkan dengan kecepatan aliran air dan luas penampang pipa dan mulut kran maka persamaan diatas dapat dirubah menjadi:

Karena volume  $V = A \cdot h$ , maka

$$Q = A \cdot h/t$$

$$Q = A \cdot v$$

**Ket:**

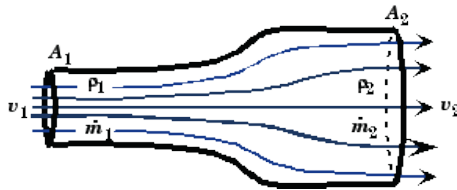
$A$  = luas penampang ( $m^2$ )

$v$  = kecepatan aliran air (m/s)

#### a. Asas Kontinuitas

Saat air keran mengisi bak mandi, air mengalir dari pipa besar menuju mulut keran yang lebih kecil. Terdapat perbedaan luas

antara mulut kran dengan pipa, sehingga kecepatan aliran air pun berbeda. Akan tetapi debit air yang mengalir tetap sama. Itulah yang disebut asas kontinuitas. Perhatikan gambar berikut:



### Rumus Asas Kontinuitas

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

### Contoh Soal:

1. Air kran dengan luas penampang  $2 \text{ cm}^2$  mengisi bak mandi dengan volume 10 liter dengan kecepatan 10 cm/s. Berapakah, waktu yang dibutuhkan untuk mengisi penuh bak mandi?
2. Air dikeluarkan dari botol aqua dengan luas penampang besar  $5 \text{ cm}^2$  dan luas penampang kecil  $2,5 \text{ cm}^2$ . Berapakah kecepatan aliran air pada penampang kecil jika kecepatan air pada luas penampang besar 2 cm/s?

### Jawaban:

1. Perhatikan gambar berikut:

kita rubah liter menjadi  $\text{m}^3$  yaitu  $0,01 \text{ m}^3$  serta merubah  $\text{cm}^2$  ke  $\text{m}^2$

$$Q = V/t$$

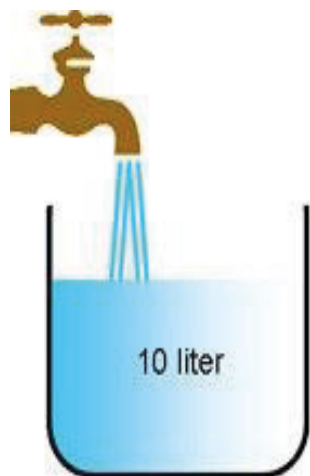
$$A \cdot v = V/t$$

$$t = V / A \cdot v$$

$$t = 0,01 / 0,0002 \cdot 0,1$$

$$t = 1/2 \cdot 10^{-3}$$

$$t = 1000/2 = 250 \text{ sekon}$$



2. Perhatikan gambar berikut:



$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$5 \cdot 2 = 2,5 \cdot v_2$$

$$v_2 = 4 \text{ cm/s}$$

Sayap pesawat yang dibentuk sedemikian rupa memenuhi prinsip hukum Bernoulli, dengan memanfaatkan perbedaan kecepatan udara dengan tekanan udara di bawah dan di atas pesawat.



**gambar: ck-12.org**

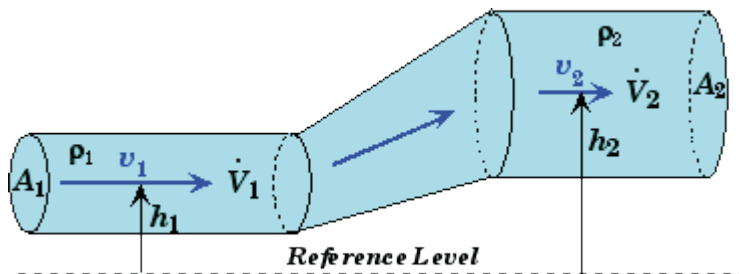
Hukum Bernoulli menyatakan bahwa tekanan dari fluida yang bergerak seperti udara berkurang ketika fluida tersebut bergerak lebih cepat. Hukum Bernoulli ditemukan oleh Daniel Bernoulli, seorang matematikawan Swiss yang menemukannya pada 1700-an. Bernoulli menggunakan dasar matematika untuk merumuskan hukumnya.

Terdapat beberapa Asumsi Hukum Bernoulli diantaranya:

- Fluida tidak dapat dimampatkan (incompressible) dan nonviscous.
- Tidak ada kehilangan energi akibat gesekan antara fluida dan dinding pipa.
- Tidak ada energi panas yang ditransfer melintasi batas-batas pipa untuk cairan baik sebagai keuntungan atau kerugian panas.
- Tidak ada pompa di bagian pipa
- Aliran fluida laminar (bersifat tetap)

**Rumus Hukum Bernoulli:**

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 + \rho_1 g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_2 v_2^2 + \rho_2 g h_2$$



Dari persamaan diatas, Hukum Bernoulli menyatakan bahwa jumlah tekanan, energi kinetik per satuan volume, dan energi potensial per satuan volume memiliki nilai yang sama di setiap titik sepanjang aliran fluida ideal.

**Keterangan:**

P = Tekanan (Pascal)

v = kecepatan (m/s)

$\rho$  = massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

h = ketinggian (m)

g = percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

## Aplikasi Hukum Bernoulli

Hukum Bernoulli bermanfaat bagi kehidupan manusia, beberapa aplikasi penerapan hukum bernoulli adalah sebagai berikut: *(klik linknya untuk mempelajarinya)*

- **Torriceli/Tangki Air**
- **Venturimeter**
- **Manometer**
- **Gaya Angkat Pesawat**
- **Tabung Pitot**

Pada fluida, system kerja yang digunakan tidak terlepas dari tekanan, yaitu:

### 1. Tekanan pada zat padat

Tekanan adalah gaya yang diberlakukan terhadap satuan luas tertentu. Tekanan berbanding lurus dengan gaya yang diberikannya dan berbanding terbalik dengan luas daerahnya. Semakin besar gaya maka semakin besar tekanan. Kebalikan dengan luas, semakin luas daerah yang ditekan maka semakin kecil tekanannya. Sesuai dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{F}{A}$$

Keterangan:

$P$  = Tekanan ( $\text{N/m}^2$ ) atau Pascal (Pa)

$F$  = Gaya (N)

$A$  = Luas Permukaan ( $\text{m}^2$ )

Apakah buktinya bahwa dengan luas permukaan yang besar tekanan kecil? Coba tebak apa yang terjadi saat seorang perempuan menginjak tanah lumpur dengan memakai sepatu hak tinggi dengan sepatu tidak memiliki hak? jawabannya pastilah dengan memakai

sepatu berhak tinggi akan membuat tanah lumpur tertekan lebih dalam dibandingkan dengan yang tidak berhak.

Atau contoh lain, manakah yang lebih sakit saat ditusuk jarum suntik ketika diobati dokter dengan ditusuk tangan telunjuk? jelas suntikan lebih sakit karena luas permukaannya sangat kecil.

## 2. Hubungan Tekanan dengan Fluida



Tekanan Pada Ban, gambar: ck-12.org

Semua fluida memberikan tekanan seperti udara di dalam ban. Partikel-partikel dari fluida terus bergerak ke segala arah secara acak, pergerakan tersebut menabrak partikel satu sama lain. Tabrakan ini menyebabkan tekanan, dan tekanan yang diberikan merata ke segala arah.

Ketika partikel dikumpulkan di dalam satu bagian dari ruang tertutup, seperti partikel udara yang memasuki ban, partikel-partikel tersebut dengan cepat menyebar untuk mengisi semua ruang yang tersedia. Itu karena partikel udara selalu bergerak dari daerah tekanan tinggi ke daerah tekanan rendah. Hal ini menjelaskan mengapa udara yang masuk ban melalui lubang kecil dengan cepat mengisi ban keseluruhan.



## EVALUASI

### A. Pilihan Ganda

1. Pada sebuah tabung dimasukkan air setinggi 8 cm, kemudian minyak setinggi 2 cm ( $\rho_m = 0,8 \text{ g/cm}^3$ ). Besar tekanan hidrostatik di dasar tabung tersebut adalah .... ( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ )
  - a. 695 Pa
  - b. 768 Pa
  - c. 856 Pa
  - d. 941 Pa
  - e. 1000 Pa
2. Gambar berikut menunjukkan sebatang pipa kaca yang berisi udara. Ujung atas pipa tertutup, sedangkan ujung bawah pipa tertutup oleh raksa yang tingginya 10 cm. Jika tekanan udara di luar 76 cmHg, tekanan udara di dalam pipa kaca adalah sebesar ....
  - a. 0 cmHg
  - b. 10 cmHg
  - c. 66 cmHg
  - d. 76 cmHg
  - e. 86 cmHg
3. Perhatikan gambar bejana di atas. Jika diketahui massa jenis oli  $0,8 \text{ g/cm}^3$  dan massa jenis raksa sebesar  $13,6 \text{ g/cm}^3$ , perbedaan tinggi permukaan raksa dengan oli adalah ....
  - a. 62 mm
  - b. 64 mm
  - c. 66 mm
  - d. 68 mm
  - e. 70 mm
4. Alat pengangkat mobil memiliki luas pengisap masing-masing  $0,10 \text{ m}^2$  dan  $2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ . Alat tersebut digunakan untuk mengangkat mobil yang memiliki berat  $15 \times 10^3 \text{ N}$ . Gaya yang harus diberikan pada pengisap yang kecil adalah ....

- a. 10 N
  - b. 20 N
  - c. 30 N
  - d. 45 N
  - e. 60 N
5. Sebuah benda jika ditimbang di udara memiliki berat 4,9 N. Akan tetapi jika ditimbang dalam minyak tanah ( $\rho_m = 0,8 \text{ g/cm}^3$ ) beratnya menjadi 4,74 N. Gaya ke atas yang dialami benda tersebut adalah ....
- a. 39,2 N
  - b. 16,0 N
  - c. 9,87 N
  - d. 2 N
  - e. 0,16 N
6. Massa sebuah benda adalah 300 gram. Jika benda ditimbang dalam air, massa benda itu seolah-olah menjadi 225 gram. Jika benda ditimbang dalam suatu cairan lain, massanya seolah-olah menjadi 112,5 g. Jika kerapatan massa air  $1 \text{ g/cm}^3$ , kerapatan massa cairan tersebut adalah ....
- a.  $0,83 \text{ g/cm}^3$
  - b.  $1,20 \text{ g/cm}^3$
  - c.  $1,25 \text{ g/cm}^3$
  - d.  $2,50 \text{ g/cm}^3$
  - e.  $2,67 \text{ g/cm}^3$
7. Sebuah balon udara berisi gas hidrogen sebanyak  $600 \text{ m}^3$  yang massa jenisnya  $= 0,09 \text{ kg/m}^3$  dan massa balon  $= 250 \text{ kg}$ . Jika massa jenis udara di sekitar balon  $= 1,2 \text{ kg/m}^3$ , balon udara tersebut mampu mengangkat beban bermassa ....
- a. 240 kg
  - b. 250 kg
  - c. 304 kg
  - d. 416 kg
  - e. 720 kg

8. Sebuah tabung berdiameter 0,4 cm dimasukkan secara vertikal ke dalam air. Sudut kontak antara dinding tabung dan permukaan air  $60^\circ$ . Jika tegangan permukaan air = 0,5 N/m dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , air pada tabung akan naik setinggi ....
- a. 0,015 m
  - b. 0,025 m
  - c. 0,035 m
  - d. 0,045 m
  - e. 0,055 m
9. Sebuah pipa air luas penampangnya =  $0,5 \text{ cm}^2$ . Jika kecepatan aliran air = 1 m/s, volume air yang keluar selama 5 menit adalah ....
- a.  $0,015 \text{ m}^3$
  - b.  $0,15 \text{ m}^3$
  - c.  $1,5 \text{ m}^3$
  - d.  $15 \text{ m}^3$
  - e.  $150 \text{ m}^3$
10. Air mengalir ke dalam bak dengan debit  $10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ . Akan tetapi, bak tersebut bocor di bagian bawah melalui lubang yang luasnya  $1 \text{ cm}^2$ . Ketinggian maksimum air dalam bak adalah ....
- a. 5 cm
  - b. 4 cm
  - c. 3 cm
  - d. 2 cm
  - e.  $\frac{1}{2} \text{ cm}$

## B. Uraian

1. Air mengalir melalui pipa mendatar dengan luas penampang pada masing-masing ujungnya  $200 \text{ mm}^2$  dan  $100 \text{ mm}^2$ . Bila air

mengalir dari penampang besar dengan kecepatan adalah 2 m/s, maka kecepatan air pada penampang kecil adalah ....

2. Azas Bernoulli dalam fluida bergerak menyatakan hubungan antara ....
3. Suatu fluida ideal mengalir di dalam pipa yang diameternya 5 cm, maka kecepatan aliran fluida adalah ....
4. Sebuah selang karet menyemburkan air vertikal ke atas sejauh 4,05 meter. Bila luas ujung selang adalah  $0,8 \text{ cm}^2$ , maka volume air yang keluar dari selang selama 1 menit adalah ... liter
5. Minyak mengalir melalui sebuah pipa bergaris tengah 8 cm dengan kecepatan rata-rata 3 m/s. Cepat aliran dalam pipa sebesar ....

Kunci Jawaban **Pilihan ganda**

1	D
3	B
5	E
7	D
9	D



# TEORI KINETIK GAS IDEAL

Gas ideal Memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

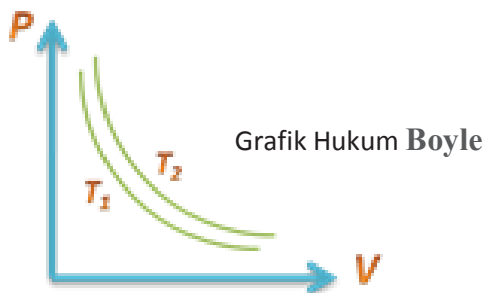
" Jumlah partikel gas banyak sekali tetapi tidak ada gaya tarik menarik (interaksi) antar partikel , Setiap partikel gas selalu bergerak dengan arah sembarang atau bergerak secara acak "

Ukuran partikel gas dapat diabaikan terhadap ukuran ruangan. Atau bisa dikatakan ukuran partikel gas ideal jauh lebih kecil daripada jarak antar partikel . Bila tumbukan yang terjadi sifatnya lenting sempurna , maka partikel gas terdistribusi merata pada seluruh ruang dengan jumlah yang banyak dan berlaku hukum Newton tentang gerak.

Di dalam kenyataannya, kita tidak menemukan suatu gas yang memenuhi kriteria di atas, akan tetapi sifat itu dapat didekati oleh gas pada temperatur tinggi dan tekanan rendah atau gas pada kondisi jauh di atas titik kritis dalam diagram PT.

## A. Hukum-Hukum Tentang Gas

### 1) *Hukum Boyle*



Hasil kali tekanan( $P$ ) dan volume( $V$ ) gas pada suhu tertentu adalah tetap. Proses seperti ini disebut juga dengan isothermal (temperatur tetap).

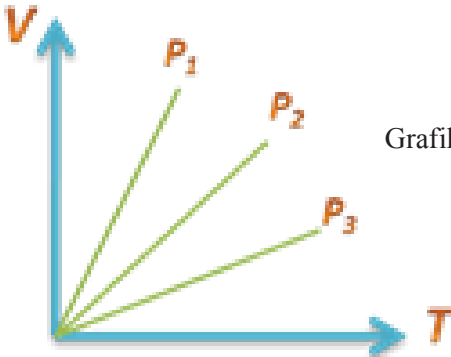
\* $PV = \text{konstan}$

\* $T_2 > T_1$

\*Tidak berlaku pada uap jenuh

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

## 2) Hukum Guy Lussac



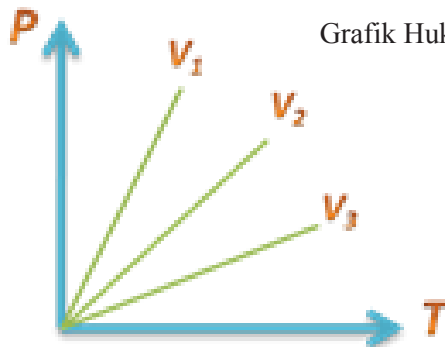
Grafik Hukum Guy Lussac

Hasil bagi volume (V) dengan temperatur (T) gas pada tekanan tertentu adalah tetap. Proses ini disebut juga isobarik (tekanan tetap).

\* $V/T = \text{konstan}$

\* $P_3 > P_2 > P_1$

## 3) Hukum Charles



Grafik Hukum Charles

Hasil bagi tekanan (P) dengan temperatur (T) gas pada volume tertentu adalah tetap. Proses seperti ini disebut dengan isokhorik (volume tetap).

\* $P/T = \text{konstan}$

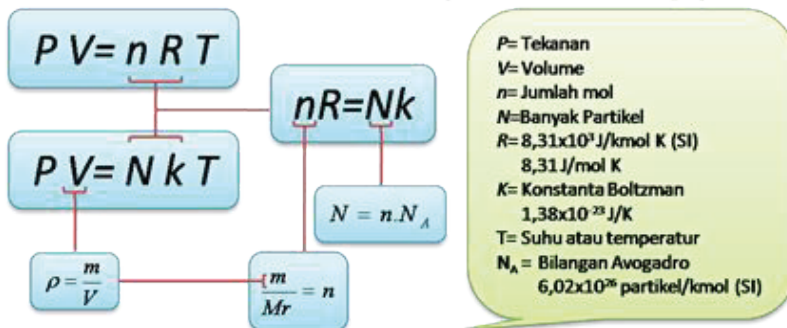
\* $V_3 > V_2 > V_1$

#### 4) Hukum Boyle-Guy Lussac

Hukum Boyle dan Guy Lussac merupakan penggabungan dari hukum Boyle dengan hukum Guy Lussac. Biasanya di dalam soal rumus yang sering digunakan adalah rumus dari hukum ini. Sekedar trik dari saya, anda bisa menamai hukum ini dengan hukum BoLu (Boyle-Lussac). Nah, dari hukum ini kita bisa mendapatkan:  $PV/T = \text{konstan}$ .

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

#### Persamaan Keadaan Gas Ideal



#### Contoh soal dan pembahasannya

1. Sebuah bejana berisi gas He yang mempunyai volume 2 L, tekanan 1 atm dan suhunya 27°C. Jika suhunya dinaikkan menjadi 127°C dan ternyata tekanannya naik 2 kalinya. Hitung volume sekarang!

Diketahui :  $V_1 = 2\text{L}$

$P_1 = 1 \text{ atm}$

$P_2 = 2 \text{ atm}$



$$T_1 = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$$

$$T_2 = 127^\circ\text{C} = 400 \text{ K}$$

Ditanya:  $V_2$ .....?

Berdasarkan hukum Boyle-Gay Lussac, pertanyaan tersebut dapat dijawab dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$V_2 = \frac{P_1 V_1 T_2}{P_2 T_1}$$

$$V_2 = \frac{1 \times 2 \times 400}{2 \times 300}$$

$$V_2 = \frac{4}{3} \text{ L}$$

## B. Tekanan, Suhu dan Energi Kinetik Gas

Perhatikan ban sepeda, mengapa ban sepeda setelah di pompa dapat mengembang? Ban sepeda mengembang karena di isi dengan gas. Molekul molekul gas yang selalu bergerak dan memenuhi ruang. Akibatnya dinding dalam ban mendapat tekanan dari gas.

### 1. Tekanan Gas

Tekanan gas dihasilkan karena pergerakan molekul gas. Misalnya molekul gas bermassa  $m$  bergerak dengan kecepatan  $v$  menumbuk dinding. Momentum yang dimiliki molekul sebelum tumbukan adalah  $\mathbf{P} = \mathbf{m.v}$

Gas di anggap sebagai gas ideal, sehingga tumbukan yang terjadi adalah tumbukan lenting sempurna. Besar momentum molekul setelah tumbukan adalah :

$$\mathbf{P} = -\mathbf{m.v}$$

Tanda negatif menunjukan arah perubahan molekul setelah terjadi tumbukan.

Waktu yang dipergunakan molekul untuk menempuh jarak  $r$  dari dinding satu ke dinding lain adalah :

$$\Delta t = \frac{2r}{v}$$

## 2. Energi Kinetik Gas

Besar tekanan gas apabila dinyatakan dengan energi kinetik adalah

$$P = \frac{1}{3} \cdot m \cdot v_{\text{rms}}^2 \cdot \left(\frac{N}{V}\right)$$

$$P = \frac{1}{3} \cdot 2EK \cdot \left(\frac{N}{V}\right)$$

$$P = \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{N}{V}\right) \cdot E_K$$

## 3. Hubungan Antara Energi Kinetik dengan Suhu dan Kecepatan Rata-rata

Hubungan antara energi kinetik gas dengan suhu secara sistematis dapat dituliskan:

$$P \cdot V = N \cdot k \cdot T$$

$$\frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot E_K \cdot V = N \cdot k \cdot T$$

$$\frac{2}{3} \cdot E_K = k \cdot T$$

$$E_K = \frac{3}{2} k \cdot T$$

$$T = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_K}{k}$$

Suhu gas dinyatakan dalam energi kinetik rata-rata partikel adalah :

$$T = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_K}{k}$$

Kecepatan rata-rata molekul adalah sebagai berikut :

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{\text{ms}}^2 = \frac{3}{2} k \cdot T$$

$$m \cdot v_{\text{ms}}^2 = 3 \cdot k \cdot T$$

$$v_{\text{ms}}^2 = \frac{3 k \cdot T}{m}$$

$$v_{ms}^2 = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

Atau

$$v_{ms}^2 = \sqrt{\frac{3kT}{M_r}}$$

Pada suhu yang sama, kecepatan dua macam gas dapat dinyatakan dengan rumus :

$$v_{ms1} : v_{ms2} = \sqrt{\frac{1}{M_{r1}}} : \sqrt{\frac{1}{M_{r2}}}$$

Keterangan :

$v_{ms1}$  : kecepatan molekul gas 1 (m/s)

$v_{ms2}$  : kecepatan molekul gas 2 (m/s)

$M_{r1}$  : masa molekul gas 1 (kg)

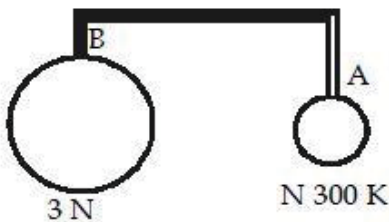
$M_{r2}$  : masa molekul gas 2 (kg)

Sedangkan pada gas yang sama dengan suhu yang berbeda, perbandingan kecepatan kedua gas dinyatakan dengan rumus :

$$v_{ms1} : v_{ms2} = \sqrt{T_1} : \sqrt{T_2}$$

## EVALUASI!

1. Pada keadaan normal ( $T = 0^\circ\text{C}$  dan  $p = 1 \text{ atm}$ ), 4 gram gas oksigen ( $\text{O}_2$ ) dengan berat molekul  $M_r = 32$  memiliki volume sebesar .... ( $R = 8.314 \text{ J/kmol K}$ ;  $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ N/m}^2$ )
  - a.  $1,4 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
  - b.  $2,8 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
  - c.  $22,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
  - d.  $2,8 \text{ m}^3$
  - e.  $22,4 \text{ m}^3$
2. Partikel-partikel gas ideal memiliki sifat-sifat antara lain ...
  - 1) selalu bergerak
  - 2) tidak tarik menarik
  - 3) bertumbukan lenting sempurna
  - 4) tidak mengikuti Hukum Newton tentang gerakPernyataan yang benar adalah ...
  - a. 1, 2, dan 3
  - b. 2, 3, dan 4
  - c. 1, 3, dan 4
  - d. 1 dan 3
  - e. 2 dan 4
3. Perhatikan gambar!



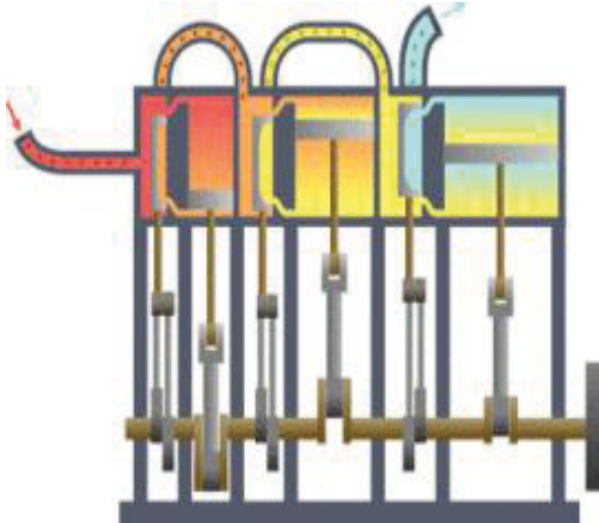
Diketahui volume bola B dua kali volume bola A. Kedua bola terisi gas ideal. Volume tabung penghubung dapat diabaikan. Gas A berada pada suhu 300 K. Jika jumlah molekul gas dalam bola A adalah  $N$  dan jumlah molekul gas dalam bola B adalah  $3N$ , suhu gas dalam bola B adalah ....

- a. 150 K.
  - b. 200 K.
  - c. 300 K.
  - d. 450 K.
  - e. 600 K.
4. Sebuah tangki diisi dengan gas ideal bermassa 10 kg pada tekanan 4 atm dan suhu  $47^{\circ}\text{C}$ . Tangki tersebut memiliki lubang kecil sehingga memungkinkan gas dapat lolos keluar. Ketika suhu  $27^{\circ}\text{C}$  dan tekanan gas 3 atm, massa gas yang lolos keluar dari tangki jika  $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$  adalah ....
- a. 2 kg
  - b. 3 kg
  - c. 4 kg
  - d. 5 kg
  - e. 6 kg
5. Sejumlah gas ideal dalam suatu ruang mengalami proses isobarik sehingga volumenya menjadi dua kali volume semula. Suhu gas tersebut akan berubah dari  $27^{\circ}\text{C}$  menjadi ....
- a.  $54^{\circ}\text{C}$
  - b.  $108^{\circ}\text{C}$
  - c.  $327^{\circ}\text{C}$
  - d.  $427^{\circ}\text{C}$
  - e.  $600^{\circ}\text{C}$
6. Sebuah ban sepeda memiliki volume =  $100 \text{ cm}^3$ . Tekanan awal di dalam ban sepeda = 0,5 atmosfer. Ban tersebut dipompa dengan suatu pompa yang volumenya =  $50 \text{ cm}^3$ . Tekanan udara luar = 76 cmHg dan temperatur tidak berubah. Tekanan ban sepeda setelah dipompa sebanyak 4 kali adalah ....
- a. 1,0 atm
  - b. 2,5 atm
  - c. 4,0 atm
  - d. 4,5 atm
  - e. 5,0 atm

7. Jika suatu gas ideal dimampatkan secara isothermal sampai volumenya menjadi setengah dari volume semula maka ....
- a. tekanan dan suhu tetap
  - b. tekanan menjadi dua kali dan suhu tetap
  - c. tekanan tetap dan suhu menjadi dua kalinya
  - d. tekanan menjadi dua kalinya dan suhu menjadi setengahnya
  - e. tekanan dan suhu menjadi setengahnya.
8. Sejumlah gas ideal bertekanan  $p$  dipanaskan dari suhu  $27^{\circ}\text{C}$  menjadi  $54^{\circ}\text{C}$ . Jika volumenya naik menjadi dua kali volume semula tekanannya akan menjadi ....
- a.  $0,25 p$
  - b.  $0,55 p$
  - c.  $0,75 p$
  - d.  $p$
  - e.  $2 p$
9. Jika sejumlah gas yang massanya tetap ditekan pada suhu tetap, molekul-molekul gas tersebut akan ....
- a. memiliki energi kinetik lebih besar
  - b. memiliki momentum lebih besar
  - c. lebih sering menumbuk dinding tempat gas berada
  - d. bergerak lebih cepat
  - e. bergerak lebih lambat
10. Suatu gas ideal memiliki energi dalam  $U$  pada saat suhunya  $27^{\circ}\text{C}$ . Besar kenaikan energi dalamnya jika suhu gas dinaikkan menjadi  $87^{\circ}\text{C}$  adalah ....
- a.  $0,2 U$
  - b.  $0,4 U$
  - c.  $0,6 U$
  - d.  $0,8 U$
  - e.  $1,2 U$



# TERMODINAMIKA



Gambar diatas sebuah sistem termodinamika

Indikator :

Setelah mempelajari bab ini siswa diharapkan mampu :

1. Menganalisis keadaan gas karena perubahan suhu , tekanan , dan vlume .
2. Mendiskripsikan usaha , kalor , dan energi dalam berdasarkan hukum utama termodinamika .
3. Menformulasikan hukum I Termdinamika dan penerapannya.
4. Memformulasikan siklus carnot.
5. Mendeskripsikan prinsip kerja mesin carnot .
6. Mengaplikasikan hukum I Termodinamika dan penerapannya .



7. Mengaplikasikan hukum II Termodinamika pada masalah fisika sehari-hari.
8. Merumuskan proses reversibel dan irreversibel
9. Mendeskripsikan prinsip kerja mesin pendingin.

**Termodinamika** (bahasa Yunani: *thermos* = 'panas' and *dynamic* = 'perubahan') adalah fisika energi, panas, kerja, entropi dan kespontanan proses. Termodinamika berhubungan dekat dengan mekanika statistik di mana banyak hubungan termodinamika berasal.

Pada sistem di mana terjadi proses perubahan wujud atau pertukaran energi, termodinamika klasik tidak berhubungan dengan kinetika reaksi (kecepatan suatu proses reaksi berlangsung). Karena alasan ini, penggunaan istilah "termodinamika" biasanya merujuk pada termodinamika setimbang. Dengan hubungan ini, konsep utama dalam termodinamika adalah proses kuasistatik, yang diidealkan, proses "super pelan". Proses termodinamika bergantung-waktu dipelajari dalam termodinamika tak-setimbang.

Karena termodinamika tidak berhubungan dengan konsep waktu, telah diusulkan bahwa termodinamika setimbang seharusnya dinamakan termostatik.

Hukum termodinamika kebenarannya sangat umum, dan hukum-hukum ini tidak bergantung kepada rincian dari interaksi atau sistem yang diteliti. Ini berarti mereka dapat diterapkan ke sistem di mana seseorang tidak tahu apa pun kecuali perimbangan transfer energi dan wujud di antara mereka dan lingkungan. Contohnya termasuk perkiraan Einstein tentang emisi spontan dalam abad ke-20 dan riset sekarang ini tentang termodinamika benda hitam.

## A. USAHA DAN HUKUM 1 TERMODINAMIKA

Lemari es seperti pada ilustrasi di atas bekerja dengan memanfaatkan prinsip termodinamika. Termodinamika merupakan ilmu yang mempelajari hubungan kalor dan bentuk lain dari energi.

kalor secara alami bergerak dari materi yang lebih panas ke materi yang lebih dingin, namun begitu kalor dapat di paksa mengalir kerah yang berlawanan. Sebagai contoh dalam lemari es, panas secara terus menerus di ambil dari ruangan dalam yang dingin dan di buang keudara luar yang lebih panas. Itulah mengapa permukaan luar lemari es, yaitu bagian samping belakang biasanya hangat. Dalam termodinamika dikenal istilah sistem dan lingkungan . sistem merupakan benda atau sekumpulan benda-benda yang akan diteliti. Adapun lingkungan merupakan semua yang ada disekitar benda atau benda-benda lainnya yang ada di alam. Lemari es merupakan contoh sistem. Adapun lingkungannya adalah udara luar. Untuk lebih memahami konsep termodinamika mari kita pelajari uraian berikut!

### 1. Usaha yang di lakukan gas

Pada bagian ini kita akan membahas usaha yang di lakukan oleh sistem (gas) terhadap lingkungannya. Pada bab 8 telah dijelaskan bahwa keadaan gas bergantung pada tekanan , volume, dan suhu. Perubahan pada komponen yang lain. Perubahan inilah yang dapat kita manfaatkan untuk menghasilkan bentuk energi yang lain, misalnya gerak. Untuk menghasilkan bentuk energi yang lain misalnya gerak . untuk menghasilkan bentuk energi tersebut diperlukan usaha . usaha dapat kita peroleh dengan mengubah keadaan suatu gas. Ketika gas memuai , gas akan menekan dinding piston sebesar :

$$P = F/A$$

Akibat tekanan tersebut piston bergeser sejauh s. usaha yang di lakukan gas adalah :

$$W = F.s$$

$$W = P.A.s$$

Jika A adalah luas penampang silinder maka  $A.s = \Delta V$ . jika persamaan tersebut kita substitusikan ke dalam persamaan  $W = P.A.s$  maka diperoleh :

$$W = P. \Delta V$$

Keterangan :

$W$  = usaha (j)

$P$  = tekanan ( $\text{N.m}^{-3} = \text{Pa}$ )

$\Delta V$  = perubahan volume ( $\Delta V$ )

Pada perubahan volume yang sangat kecil , besarnya usaha dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

Usaha yang dilakukan sistem bernilai positif jika sistem melepaskan energi pada sistem hingga sistem menerima sejumlah energi maka usaha yang dilakukan sistem adalah negatif . usaha yang dilakukan pada proses termodinamika berasal dari usaha berbagai macam gaya.

Berikut ini adalah usaha pada proses-proses termodinamika yaitu :

**a. Proses isotermik atau istermal ( temperatur tetap )**

Dari penjelasan sebelumnya . telah kita ketahui bahwa besar usaha yang dilakukan gas adalah:

$$W = P.A.s$$

$$W = P.V$$

Besar usaha suatu proses dapat ditentukan dengan menghitung luas daerah di bawah kurva. Kurva usaha pada proses isotermik. Misalnya kita ambil sebuah elemen volume  $dV$  usaha yang dilakukan pada perubahan volume  $dV$  adalah:

$$dW = P . dV$$

dalam termodinamika berlaku hukum boyle gay lussac, yaitu:

$$\frac{P_1.V_1}{T_1} = \frac{P_2.V_2}{T_2}$$

Karena pada proses isotermik suhu awal sama dengan suhu akhir,  $T_1 = T_2$  maka :

$$P_1.V_1 = P_2.V_2$$

Dari bab teori kinetik gas telah kita ketahui bahwa persamaan gas ideal sebagai berikut.

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$P = \frac{n \cdot R \cdot T}{V}$$

Usaha keseluruhan yang dilakukan sistem merupakan integral dari besar usaha pada perubahan volume  $dV$ . Dengan memasukkan persamaan 9.3 ke dalam persamaan 9.1 diperoleh :

$$W = \int_{V_1}^{V_2} dW$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} \frac{n \cdot R \cdot T}{V} dV$$

$$W = n \cdot R \cdot T \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

$$W = n \cdot R \cdot T \cdot \ln \left[ \frac{V_2}{V_1} \right]$$

Dari pelajaran matematika kita tahu bahwa :

$$\ln x = {}^0 \log x = \frac{\log x}{\log e}$$

$$\ln x = 2,3 \log x$$

Dengan demikian , persamaan diatas dapat dinyatakan :

$$W = 2,3 n \cdot R \cdot T \left[ \frac{V_2}{V_1} \right]$$

Keterangan :

$V_1$  = Volume sebelum proses

$V_2$  = Volume setelah proses

$W$  = usaha (joule)

Usaha luar yang dilakukan sistem akan bernilai positif (+) jika  $V_1 < V_2$  dan bernilai negatif (-) jika  $V_1 > V_2$ .

### b. Proses isobarik ( tekanan tetap )

Besarnya usaha pada proses ini dapat ditentukan dengan mencari luas daerah dibawah kurva. Misalnya kita menghitung usaha dari  $V_1$  ke  $V_2$ .

Berdasarkan hukum Boyle-Gay Lussac menjadi :

$$\frac{P_1 . V_1}{T_1} = \frac{P_2 . V_2}{T_2}$$

Pada proses isobarik tekanan gas selalu tetap ,  $P_1 = P_2$  sehingga persamaan hukum Boyle-Gay Lussac menjadi:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Dengan menggunakan persamaan usaha diperoleh besar usaha pada proses isobarik adalah :

$$W = P . \Delta V$$
$$W = P (V_2 - V_1)$$

Keterangan :

$V_1$  = Volume gas pada keadaan awal (  $m^3$  )

$V_2$  = Volume gas pada keadaan akhir (  $m^3$  )

### c. Proses isokhorik ( Volume tetap )

Pada proses isokhorik berlaku hukum Boyle-Gay Lussac, yaitu:

$$\frac{P_1 . V_1}{T_1} = \frac{P_2 . V_2}{T_2}$$

Karena pada proses isokhorik volume awal sama dengan volume akhir ,  $V_1 = V_2$  maka,  $V_1 = V_2$  maka :

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Pada proses isokhorik tidak terjadi perubahan volume (  $\Delta V = 0$  ) dengan demikian, usaha yang dilakukan pada proses isokhorik adalah :

$$W = P . \Delta V$$

$$W = P \cdot \Delta V$$

$$W = 0$$

#### d. Proses adiabatik ( $Q = 0$ )

pada proses adiabatik berlaku persamaan berikut :

$$P_1 \cdot V_1^\gamma = P_2 \cdot V_2^\gamma$$

Apabila dalam proses adiabatik terjadi perubahan keadaan gas, persamaan diatas menjadi :

$$P_1 \cdot V_1^\gamma \cdot P_2 \cdot V_2 \cdot V_2^{-1}$$

$$\frac{n \cdot R \cdot T_1}{V_1} \cdot V_1^\gamma = \frac{n \cdot R \cdot T_2}{V_2} \cdot V_2^\gamma$$

$$T_1 \cdot V_1^\gamma = T_2 \cdot V_2^\gamma$$

Keterangan :

$P_1$  = tekanan sebelum proses (Pa)

$P_2$  = tekanan setelah proses (Pa)

$T_1$  = suhu sebelum proses (K)

$T_2$  = suhu setelah proses (K)

$A$  = konstanta Laplace =  $\frac{C_p}{C_v}$

$C_p$  = kalor jenis gas pada tekanan tetap (J/kg .  $^{\circ}\text{C}$  atau J/kg.K)

$C_v$  = kalor jenis gas pada volume tetap ( J/kg.  $^{\circ}\text{C}$  atau J/kg. K)

Usaha yang dilakukan pada proses adiabatik hanya digunakan untuk mengubah energi dalam . secara matematis usaha tersebut dinyatakan sebagai berikut .

$$W = - \Delta U$$

Adapun persamaan dapat menentukan usaha pada gas monatomik , diatomik , dan poliatomik .

Usaha pada gas monatomik dirumuskan :

$$W = - \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

$$W = - \frac{3}{2} n \cdot R \cdot (T_2 - T_1)$$

$$W = \frac{3}{2} n . R . (T_1 - T_2)$$

Usaha pada gas diatomik dirumuskan

$$W = -\frac{5}{2} . n . R . \Delta T$$

$$W = -\frac{5}{2} . n . R . (T_2 - T_1)$$

$$W = \frac{5}{2} . n . R . (T_1 - T_2)$$

Usaha pada gas poliatomik dirumuskan :

$$W = -\frac{6}{2} . n . R . \Delta T$$

$$W = \frac{6}{2} . n . R . (T_2 - T_1)$$

$$W = \frac{6}{2} . n . R . (T_1 - T_2)$$

## B. KAPASITAS KALOR DAN KALOR JENIS GAS

Pada pembahasan ini kita akan mempelajari hubungan antara kalor yang kita berikan terhadap perubahan suhu gas . disini kita akan mengenal konsep kapasitas kalor dan kalor jenis gas.

Kapasitas kalor gas adalah banyaknya kalor yang diperlukan gas untuk menaikkan suhunya sebesar 1 °C atau 1 K . secara matematis kapasitas kalor gas dapat dituliskan :

$$C = \frac{Q}{\Delta t}$$

Keterangan :

C = kapasitas kalor gas (J/K atau J/°C)

Q = kalor yang diperlukan (J)

Δt = kenaikan suhu (K atau °C)

Sedangkan kalor jenis gas adalah banyak kalor yang diperlukan tiap 1 kilogram gas untuk menaikkan atau melepaskan suhunya sebesar 1 °C atau 1 K. secara matematis kalor jenis gas dapat dituliskan :

$$C = \frac{Q}{m . \Delta t}$$

**keterangan :**

$C$  = kalor jenis gas (J/kg.K atau J/kg. $^{\circ}$ C)

$M$  = massa gas (kg)

Kalor jenis gas juga disebut kapasitas kalor jenis . selain kalor jenis gas , dikenal pula kalor jenis molar gas , yaitu kapasitas kalor tiap mol . besar kalor jenis molar adalah :

$$C_m = \frac{C}{n} = \frac{Q}{n \cdot \Delta t}$$

**Keterangan :**

$C_m$  = kalor jenis molar gas (J/mol.K atau J/mol. $^{\circ}$ C)

Berikut ini akan kita pelajari kapasitas kalor dan kalor jenis pada tekanan tetap dan volume tetap .

**a. pada proses isobarik**

Kalor jenis gas pada proses isobarik (tekanan tetap) didefinisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan tiap 1 kg gas untuk menaikkan atau melepaskan suhu tiap 1 kg gas sebesar 1  $^{\circ}$ C atau 1 K pada tekanan tetap . kalor jenis gas pada proses isobarik dirumuskan :

$$C_p = \frac{Q_p}{m \cdot \Delta T}$$

**Keterangan :**

$C_p$  = kalor jenis gas pada tekanan tetap (J/kg atau J/kg. $^{\circ}$ C)

$Q_p$  = kalor yang diperlukan (J)

$M$  = massa gas (kg)

Sedangkan kalor jenis molar pada proses isobarik adalah :

$$C_{pm} = \frac{Q_p}{n \cdot \Delta T}$$

**Keterangan :**

$C_{pm}$  = kalor jenis molar pada tekanan tetap (J/mol. $^{\circ}$ C)

$N$  = mol gas (mol)



Kapasitas kalor pada prses isobarik (tekanan tetap) didenifikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan gas untuk menaikkan suhunya sebesar  $1^{\circ}\text{C}$  atau  $1\text{ K}$  pada tekanan tetap . kapasitas kalor pada proses isobarik adalah sebagai berikut .

$$C_p = \frac{Q_p}{\Delta T}$$

Keterangan :

$C_p$  = kapasitas kalor pada tekanan tetap ( $\text{J/K}$  atau  $\text{J}/^{\circ}\text{C}$ )

#### **b. pada proses isokhorik**

kalor jenis gas pada proses isokhorik (volume tetap) didenifisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan  $1\text{ kg}$  gas untuk menaikkan atau melepaskan suhu sebesar  $1^{\circ}\text{C}$  atau  $1\text{ K}$  pada vlume tetap . kalor jenis gas pada proses isokhorik adalah sebagai berikut .

$$C_v = \frac{Q_v}{m \cdot \Delta T}$$

Keterangan :

$C_v$  = kalor jenis gas pada volume tetap ( $\text{J/kg.K}$  atau  $\text{J/kg.}^{\circ}\text{C}$ )

$Q_v$  = kalor yang di perlukan ( $\text{J}$ )

Kalor jenis molar pada vlume tetap adalah sebagai berikut :

$$C_v = \frac{Q_v}{\Delta T}$$

Keterangan :

$C_{vm}$  = kalor jenis molar pada volume tetap ( $\text{J.K}$  atau  $\text{J}/^{\circ}\text{C}$ )

Kapasitas kalor pada volume tetap didenifisikan sebagai banyaknya kalor yang di perlukan gas untuk menaikkan suunya sebesar  $1^{\circ}\text{C}$  atau  $1\text{ K}$  pada volume tetap . besar kapasitas kalor pada vlume tetap dirumuskan :

$$C_v = \frac{Q_v}{\Delta T}$$

Keterangan :

$C_v$  = kapasitas kalor pada vlume tetap ( $\text{J/kg. K}$  atau  $\text{J/kg.}^{\circ}\text{C}$ )

**Contoh soal :**

Tiga mol gas yang berada dalam tangki yang volumenya 20 L dan suhunya 37<sup>0</sup>C mempunyai tekanan 1 atm. Tentukan tekanan 8 mol gas tersebut dalam tangki yang volumenya 50 L dan suhunya 97 <sup>0</sup> C !

Penyelesaian :

Diketahui :

$$n_1 = 3 \text{ mol}$$

$$V_1 = 20 \text{ L}$$

$$T_1 = 37^{\circ}\text{C} = 310 \text{ K}$$

$$P_1 = 1 \text{ atm}$$

$$N_2 = 8 \text{ mol}$$

$$V_2 = 50 \text{ L}$$

$$T_2 = 97^{\circ}\text{C} = 370 \text{ K}$$

Ditanyakan :  $P_2 = \dots?$

Jawab :

$$P_2 \cdot V_2 = n_2 \cdot R \cdot T_2$$

$$P_2 = \frac{n_2 \cdot R \cdot T_2}{V_2}$$

$$P_2 = \frac{8,00821 \cdot 370}{50}$$

$$P_2 = \frac{243,016}{50}$$

$$P_2 = 4,86 \text{ atm}$$

## C. Mesin Kalor dan Siklus Carnot

### 1. Pengertian siklus

Pada aplikasi hukum I Termodinamika khususnya untuk prses isothermal , seluruh kalr yang diberikan kepad sistem dapat diubah menjadi usaha yang besarnya adalah  $W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$ .

Pernyataan ini menunjukkan bahwa untuk dapat melakukan usaha secara terus menerus tidak mungkin hanya dilakukan dalam suatu prses isothermal karena suatu saat proses akan berhenti ketika volume ( $V_2$ ) mencapai nilai maksimum . Agar dapat mengubah kalor menjadi usaha lagi , maka sistem harus dikembalikan ke keadaan semula. Menjadi saha lagi, maka sistem harus dikembalikan kekeadaan semula. Rangkaian prses yang membuat keadaan akhir sistem kembali kekeadaan awalnya disebut siklus.

Tinjau suatu siklus termdinamika yang melibatkan proses isothermal , proses isobarik , dan proses isobarik , dan prses isokhorik .

### 2. Mesin Kalor

Mesin kalor adalah mesin yang mengubah energy panas menjadi energy mekanik , Ide dasar mesin kalor adalah fakta bahwa energy mekanik dapat di peroleh dari energy termal dengan membiarkan sejumlah kalor mengalir dari temperature tinggi ke temperature rendah . Dalam proses ini , sebagian kalor akan di ubah menjadi energy mekanik

Mesin kalor bekerja melalui suatu proses siklus yang meliputi langkah langkah berikut ini :

- Kalor yang di serap dari reservoir suhu tingi sehingga meningkatkan energy dalam gas pada mesin
- Energy dalam itu dikonversi menjadi usaha mekanik ( menggerakkan piston )
- Sisa energy / kalor dialirkan ke reservoir suhu rendah

Jika kalor yang di berikan oleh reservoir suhu tinggi yang bersuhu  $T_H$  adalah  $Q_h$ , kalor yang diterima reservoir suhu rendah pada suhu  $T$ ,

adalah  $Q_c$ ; pada mesin kalor yang berlaku persamaan  $Q_h = W + Q_c$  atau  $W = Q_h - Q_c$

Suatu mesin kalor yang memiliki efisiensi atau nilai daya guna tertentu. Efisiensi menunjukkan banyaknya porsi kalor yang diserap mesin dari reservoir suhu tinggi ( $Q_H$ ) yang berhasil di ubah menjadi energy mekanik ( $W$ ).

Efisiensi mesin kalor( $\eta$ ) di rumuskan dengan :

$$\eta = \frac{W}{Q_H}$$

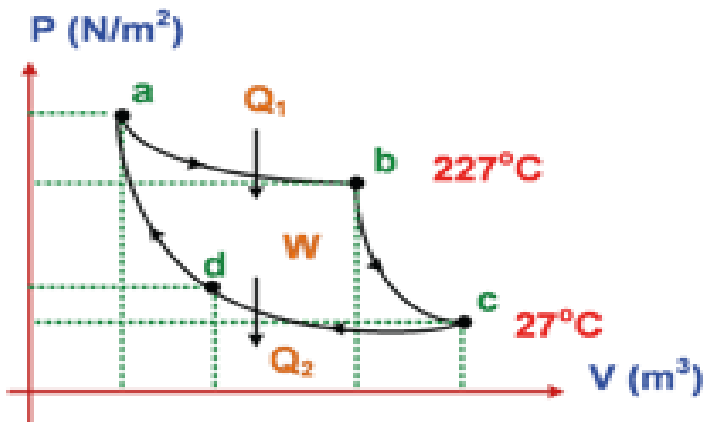
Dengan  $W = Q_h - Q_c$ , rumus efisiensi mesin kalor dapat pula dinyatakan dengan

$$\eta = \frac{Q_h - Q_c}{Q_h} = 1 - \frac{Q_c}{Q_h}$$

### 3. Siklus Carnot

Pada tahun 1824 , Seorang insyur prancis Bernama Sadi Carnot (1796 -1932) memperkenalkan metode baru untuk meningkatkan efisiensi sutu mesin. Metode itu menggunakan siklus yang melibatkan dua proses isotermik dan dua proses adiabatik

Siklus semacam itu disebut siklus carnot dan mesin yang menerapkan siklus itu disebut mesin carnot .



Perhatikan skema siklus carnot pada gambar . Proses proses yang dialami gas ideal dalam siklus carnot adalah sebagai berikut :

- a. Proses A – B merupakan pemuaian ( ekspansi ) secara isothermal , Gas menyerap kalor  $Q_h$  dari suhu tinggi  $T_h$  dan melakukan usaha  $W_{AB}$
- b. Proses B- C merupakan ekspansi secara adiabatic . suhu gas turun dari  $T_H$  menjadi  $T_C$  setelah melakukan usaha  $W_{BC}$
- c. Proses C- D merupakan pemanfaatan atau konpresi secara isothermal . Pada proses ini gas melepas kalor  $Q_C$  ke reservoir suhu rendah . Bersuhu  $T_C$  dan melakukan usaha  $W_{CD}$
- d. Proses D- A merupakan pemanfaatan secara adaiabatik. Suhu gas naik dari  $T_C$  menjadi  $T_H$  sambil melakukan usaha  $W_{DA}$ .

Proses pemuaian isothermal A- B menyerap kalor  $Q_H$  Dan prosos pemanfaatan isothermal C-D melepas kalor  $Q_C$  . Usaha yang dilakukan sama dengan  $W = Q_H - Q_C$ .

Efisiensi mesin carnot  $\eta$ , seperti pada mesin kalor merupakan perbandingan antara kerja yang di lakukan  $W$  dan kalor yang di serap mesin  $Q_H$ .

$$\eta = 1 - \frac{Q_C}{Q_H}$$

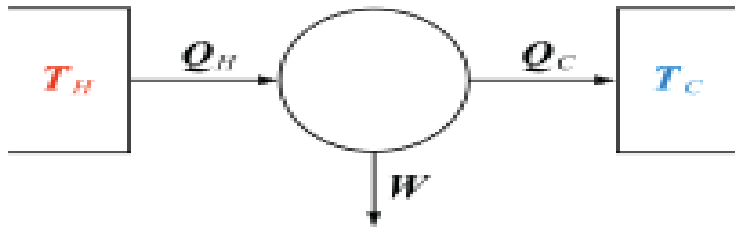
Menurut Kelvin, perbandingan temperature dua reservoir akan sama dengan perbandingan kalornya

$$\frac{T_H}{T_C} = \frac{Q_H}{Q_C}$$

Dengan demikian , efisiensi mesin carnot dapat di ungkapkan dalam bentuk

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

### 3. Mesin pendingin



Prinsip kerja mesin pendingin atau lemari es berkebalikan dengan mesin kalor. Mesin pendingin menyerap kalor dari reservoir dingin atau  $Q_C$ . Kompresor melakukan usaha mekanik ( $W$ ) untuk membuang kalor ke reservoir panas dalam kasus ini juga berlaku persamaan :

$$Q_H = W + Q_C \text{ atau } W = Q_C - Q_H$$

Jika mesin kalor menghasilkan kerja positif, pada mesin pendingin terjadi sebaliknya, mesin pendingin menghasilkan kerja negatif. Mesin pendingin dapat berupa AC atau air Conditioner

Tujuan setiap mesin pendingin adalah mengambil sebanyak mungkin kalor dari reservoir dingin  $Q_C$  dengan kerja  $W$  sekecil mungkin. Jadi, dalam hal ini outputnya adalah kalor dari reservoir dingin sedangkan inputnya adalah kerja  $W$ . Kerja yang diperlukan dapat diperoleh dari energi listrik yang kita bayar setiap bulan. Kita perlu memilih mesin pendingin yang efisien agar kita dapat menghemat biaya listrik.

Tingkat efektifitas mesin pendingin dinyatakan dengan koefisien kinerja atau  $K$ . Untuk sejumlah kerja  $W$  yang diberikan untuk mengalirkan kalor sebanyak  $Q_C$  dari reservoir dingin, koefisien kinerja di rumuskan dengan :

$$K = \frac{Q_C}{W} = \frac{Q_C}{Q_C - Q_H} = \frac{T_C}{T_C - T_H}$$

Pada lemari pendingin atau refrigerator, reservoir dinginnya adalah ruang di dalam refrigerator, sedangkan reservoir panasnya adalah ruang diluar refrigerator. Kalor dari reservoir dingin  $Q_C$  adalah kalor dari bahan makanan atau benda di dalam lemari

pendingin yang akan di keluarkan . kaloir pada reservoir panasnya  $Q_H$  dalaha kalor yang dilepas keudara diluar lemari pendingin kerja  $W$  diperoleh dari energy listrik.

**Contoh soal :**

Sebuah mesin kalor dengan efisiensi 40% memiliki reservoir suhu tinggi  $1000^0$  K. tentukan suhu reservoir dingin!

Jawab:

$$\eta = 1 - \frac{T_c}{T_h} = T_c = (1 - 0,4) (1.000 \text{ K}) = 600 \text{ K}$$

Jadi , suhu pada reservoir suhu rendah adalah 600 K.

## D. HUKUM II TERMODINAMIKA

Nilai efisiensi mesin kalor tak mungkin mencapai 100%. Hal ini menunjukan bahwa tidak mungkin dibuat mesin yang mengubah seluruh kalor ( $Q_H$ ) menjadi kerja ( $W$ ). Fakta ini merupakan inti hukum II termodinamika.

Ada beberapa perumusan hukum II termodinamika , diantaranya adalah perumusan Kelvin –Planck dan perumusan Clausius .

**a. Perumusan Kelvin – Planck**

Kelvin dan Planck menyatakan bahwa:

“ adalah mustahil bagi system maupun untuk mengubah seluruh kalor yang diserapnya dari reservoir suhu tinggi menjadi kerja mekanik “

Jika hukum II termodinamika yang di kemukakan oleh Kelvin- planck di atas tidak berlaku , kita dapat menggerakan mobil hanya dengan mendinginkan udara di sekitar mobil tersebut

**b. Perumusan clausius**

Pada tahun 1850, Rudolf Clausius mengemukakan hokum II termodinamika , yang intinya menyatakan bahwa:

“ Tidak mungkin membuat mesin yang kerjanya hanya menyerap kalor dari reservoir yang bersuhu rendah dan memindahkan kalor ini ke reservoir yang bersuhu tinggi tanpa adanya usaha dari luar “

Kalor mengalir secara spontan dari benda yang bersuhu tinggi menuju benda yang bersuhu rendah dan tidak dapat mengalir secara spontan dalam arah sebaliknya . Proses ini tidak akan pernah terjadi tanpa adanya bantuan usaha dari luar . Usaha dari luar yang diberikan misalnya berupa energy listrik atau energy mekanik .

### c. Hukum II termodinamika dalam bentuk Entropi

Menurut Clausius , entropi(s) merupakan besaran yang perubahannya dapat dinyatakan sebagai hasil bagi antara kalor (Q) dan suhu mutlak (T) , Sistem yang memiliki suhu mutlak tetap T, jika mengalami perubahan atau proses reversible dengan menyerap kalor Q ,akan mengalami kenaikan entropi ( $\Delta S$ ) sebesar

$$\Delta S = \left( \frac{Q}{T} \right)_{\text{reversible}}$$

Definisi di atas berlaku jika proses terjadi bersifat reversible . Penambahan kalor pada system ( $Q > 0$ ) akan menaikkan entropi system . Sebaliknya , entropi system akan berkurang jika kalor yang dilepaskan oleh system ( $Q < 0$ ).

Entropi merupakan fungsi keadaan seperti halnya energy dalam U. Artinya nilai S hanya bergantung pada keadaan system , tidak bergantung pada proses tercapainya keadaan system itu . Lebih lanjut lagi dapat dinyatakan bahwa perubahan entropi ( $\Delta S$ ) hanya bergantung pada keadaan awal dan keadaan akhir system . jadi, meskipun proses yang terjadi bersifat ireversibel sehingga persamaan kenaikan entropi ( $\Delta S$ ) tidak berlaku , kita tetap dapat menentukan nilai  $\Delta S$  dengan menggunakan proses reversible . untuk menghubungkannya dengan keadaan awal dan keadaan akhir yang sama



Sekarang akan kita mempelajari penerapan definisi perubahan entropi untuk proses reversible pada mesin kalor. Mula mula, kalor sebesar  $Q_H$  keluar dari reservoir panas pada suhu  $T_H$  sehingga entropi pada reservoir panas berkurang sebesar  $Q_H/T_H$  atau dapat dinyatakan sebagai

$$\Delta S_H = -\frac{Q_H}{T_H}$$

Dengan mengingat bahwa  $Q_H$  adalah Kalor yang keluar dari reservoir panas, tanda diberikan untuk menunjukkan berkurangnya entropi. Dengan pemahaman yang sama, kalor diberikan pada reservoir dingin sehingga meningkatkan entropinya sebesar  $Q_C/T_C$  atau dapat dituliskan sebagai

$$\Delta S_C = \frac{Q_C}{T_C}$$

Entropi total pada system adalah

$$\Delta S_{\text{total}} = \Delta S_H + \Delta S_C = -\frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_C}{T_C}$$

Oleh karena  $Q_H/T_H = Q_C/T_C$ , kita peroleh nilai entropi totalnya adalah

$$\Delta S_{\text{total}} = -\frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_C}{T_C} = 0$$

Jadi entropi total pada mesin reversible (ideal) bersifat relative tetap. Di lain pihak, efisiensi mesin mesin yang sesungguhnya (tak ideal) selalu lebih kecil daripada efisiensi irreversible yang dioperasikan pada suhu yang sama. Pada mesin mesin yang sesungguhnya, bukan

$$\frac{Q_H}{T_H} < \frac{Q_C}{T_C}$$

Jadi perubahan entropi pada mesin irreversible bernilai positif. Secara umum dapat disimpulkan bahwa : *sembarang proses irreversible menghasilkan kenaikan entropi*

Proses reversible adalah proses ideal yang tak pernah terjadi di alam ini. Semua proses di alam semesta bersifat irreversible sehingga entropi alam selalu meningkat.

Pernyataan tentang entropi alam semesta yang selalu meningkat itu sebenarnya merupakan bentuk lain dari pernyataan hukum I termodinamika . lebih jelasnya, inti pernyataan hukum II termodinamika dalam bentuk entropi adalah

“ Sebuah proses alami yang bermula dalam suatu keadaan kesetimbangan lain akan bergerak dalam arah yang menyebabkan entropi system dan lingkungan bertambah atau tetap” .

#### Contoh soal :

1. Reservoir panas bersuhu 572 K mengalirkan 1.050J kalor secara ireversibel ke reservoir dingin yang bersuhu 305 K. Tentukan perubahan entropi alam semesta ?

Jawab:

$$Q_H = 576 \text{ K} ; Q_H = Q_C = Q = 1.050 \text{ J} ; T_C = 305 \text{ K}$$

Perubahan entropi pada reservoir panas :

$$\Delta S_H = -\frac{Q}{T_H} = -\frac{1.050}{576 \text{ K}} = -1,82 \text{ J/K}$$

Perubahan entropi pada reservoir dingin :

$$\Delta S_C = \frac{Q}{T_C} = \frac{1.050 \text{ J}}{305 \text{ K}} = 3,44 \text{ J/K}$$

Perubahan entropi semesta :

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{semesta}} &= \Delta S_H + \Delta S_C \\ &= -1,82 \text{ J/K} + 3,44 \text{ J/K} = 1,62 \text{ J/K} \end{aligned}$$

#### E. Hukum III Termodinamika

Hukum ketiga termodinamika terkait dengan temperatur nol absolut. Hukum ini menyatakan bahwa pada saat suatu sistem mencapai temperatur nol absolut, semua proses akan berhenti dan entropi sistem akan mendekati nilai minimum. Hukum ini juga

menyatakan bahwa entropi benda berstruktur kristal sempurna pada temperatur nol absolut bernilai nol.

Hukum III Termodinamika menyatakan bahwa entropi dari semua Kristal-kristal padat mendekati nol pada saat suhunya mendekati nol mutlak. Dengan kata lain, semua zat akan kehilangan energy pada saat suhunya nol mutlak. Itulah sebabnya orang-orang menyimpan bahan makanan dalam *freezer* untuk mempertahankan perubahan energy dari bahan makanan itu dan mempertahankannya dari kerusakan.

Entropi adalah munculnya efek ketidakteraturan atau kerusakan pada saat terjadi peningkatan energy pada suatu system. Semakin tinggi entropi, semakin tinggi ketidakteraturannya. Perubahan pada system tertutup cenderung menuju entropi yang lebih tinggi atau menuju ketidakteraturan yang lebih tinggi.

Menurut Clausius, jika suatu system pada suhu mutlak mengalami suatu proses *reversible* dengan menyerap sejumlah kalor maka kenaikan atau perubahan entropi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \frac{\Delta Q}{T}$$

Keterangan :

$\Delta S$  : perubahan entropi (J/K)

$S_1$  = Entropi mula-mula (J/K)

$S_2$  = Entropi akhir ( $\frac{J}{K}$ )

$T$  = Temperatur (K)

$\Delta Q$  = Kalor yang diberikan kepada system (J)

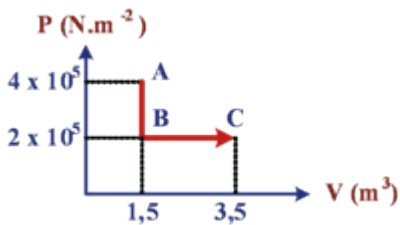
Asas entropi yang dikemukakan Clausius mengatakan bahwa alam raya (*universe*) sebagai system terisolasi sehingga proses didalamnya berlangsung secara adiabatik. Entropi alam raya cenderung naik ke nilai maksimum. Demikian pula yang berlangsung di bumi sebagai bagian dari alam raya.

Kenaikan entropi selalu diikuti pula dengan ketidakteraturan . Karena penggunaan energy untuk usaha berlangsung terus menerus , entropi di bumi haruslah bertambah terus dan ketidakteraturannya juga harus bertambah . kecenderungan ini dapat ditahan dengan adanya fotosintesis . Dalam proses ini energy matahari yang tersebar dikumpulkan menjadi energy kimia yang terkonsentrasi dalam molekul gula . Dengan proses ini entropi bumi diturunkan dan ketidakteraturan bertambah . karena itu, Fotosintesis disebut juga *negentropi* (entropi negative) . Akan tetapi , penurunan entropi di bumi disertai oleh naiknya entropi di matahari . inilah hukum alam , penurunan entropi di suatu tempat hanya mungkin terjadi dengan naiknya entropi di tempat lain . misalnya lemari es menurunkan entropi di dalam ruangan lemari es , tetapi pada saat yang sama lemari es tersebut menaikkan entropi di luar .

## TES EVALUASI TERMODINAMIKA

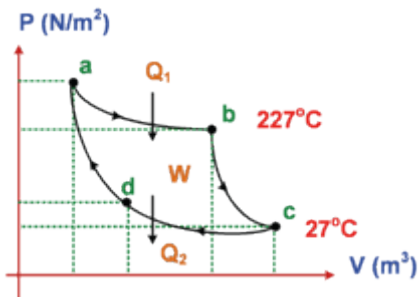
1. Suatu gas memiliki volume awal  $2,0 \text{ m}^3$  dipanaskan dengan kondisi isobaris hingga volume akhirnya menjadi  $4,5 \text{ m}^3$ . Jika tekanan gas adalah 2 atm, tentukan usaha luar gas tersebut (  $1 \text{ atm} = 1,01 \times 10^5 \text{ pa}$  ) ?
  - a.  $5,05 \times 10^5 \text{ joule}$
  - b.  $6,06 \times 10^4 \text{ joule}$
  - c.  $7,09 \times 10^5 \text{ joule}$
  - d.  $8,08 \times 10^5 \text{ joule}$
  - e.  $7,08 \times 10^5 \text{ joule}$
2.  $1,5 \text{ m}^3$  gas helium yang bersuhu  $27^\circ\text{C}$  dipanaskan secara isobarik sampai  $87^\circ\text{C}$  . Jika tekanan gas helium  $2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ , gas helium melakukan usaha luar sebesar ....
  - a. 60 kJ
  - b. 120 kJ
  - c. 280 kJ

- d. 480 kJ
- e. 660 kJ
3. 2000/693 mol gas helium pada suhu tetap  $27^{\circ}\text{C}$  mengalami perubahan volume dari 2,5 liter menjadi 5 liter. Jika  $R = 8,314 \text{ J/mol K}$  dan  $\ln 2 = 0,693$  tentukan usaha yang dilakukan gas helium.....
- a. 8765,4 joule
- b. 4988,4 joule
- c. 9876,4 joule
- d. 6543,4 joule
- e. 6542,4 joule
4. Mesin carnot bekerja pada suhu tinggi 600 K, untuk menghasilkan kerja mekanik. Jika mesin menyerap kalor 600 J dengan suhu rendah 400 K, maka usaha yang dihasilkan adalah.....
- a. 120 J
- b. 124 J
- c. 135 J
- d. 148 J
- e. 200 J
5. Diagram  $P - V$  dari gas helium yang mengalami proses termodinamika ditunjukkan seperti gambar berikut !



Usaha yang dilakukan gas helium pada proses ABC sebesar ....

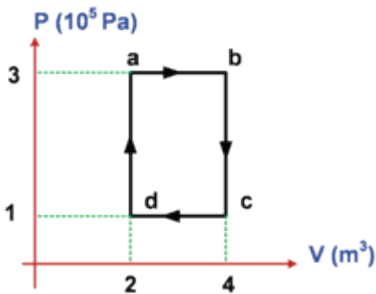
- a. 660 kJ
  - b. 400 kJ
  - c. 280 kJ
  - d. 120 kJ
  - e. 60 kJ
6. Suatu mesin carnot, jika reservoir panasnya bersuhu 400 K akan mempunyai efisiensi 40%. Jika reservoir panasnya bersuhu 640 K, efesiensinya ....
- a. 50,0
  - b. 52,5
  - c. 57,0
  - d. 62,5
  - e. 64,0
7. Perhatikan gambar berikut ini !



Jika kalor yang diserap reservoir suhu tinggi adalah 1200 joule, tentukan Efisiensi mesin carnot !

- a. 40%
- b. 50%
- c. 60%
- d. 70%
- e. 80%

8.



Suatu gas ideal mengalami proses siklus seperti pada gambar P–V di atas. kerja yang dihasilkan pada proses siklus ini adalah ....

- a. 200 kJ
  - b. 400 kJ
  - c. 600 kJ
  - d. 800 kJ
  - e. 1000 kJ
9. Suatu pesawat pendingin carnot mempunyai koefesien kinerja 6,5 jika reservoir yang tinggi  $27^{\circ}\text{C}$ , maka reservoir yang bersuhu rendah adalah
- a.  $-5^{\circ}\text{C}$
  - b.  $-8^{\circ}\text{C}$
  - c.  $-10^{\circ}\text{C}$
  - d.  $-12^{\circ}\text{C}$
  - e.  $-13^{\circ}\text{C}$
10. Sebuah kulkas memiliki suhu rendah  $-13^{\circ}\text{C}$  dan suhu tinggi  $27^{\circ}\text{C}$ . jika kalor yang dipindahkan dari reservir suhu rendah adalah 1300 joule tentukan usaha yang diperlukan kulkas .....
- a. 300 Joule
  - b. 200 Joule
  - c. 400 Joule

- d. 500 Joule
- e. 600 Joule

## Essay

1. Kalor Jenis pada Volume tetap untuk gas nitrogen adalah 0,177 kal/g.K. Berapa kalor jenis pada tekanan tetapnya jika massa molekul nitrogen 28 g/ mol? ( $R=8,314 \text{ J/ mol.K}$ )
2. Jika tetapan Laplace suatu gas adalah 1,01 dan tetapan gas umum  $R = 0,082 \text{ Liter .atm/mol.K}$ , tentukan kapasitas kalor gas itu pada
  - a. Tekanan tetap
  - b. Volume tetap
3. 50 gram gas nitrogen dipanaskan dari suhu 280 K menjadi 330 K. Jika dipanaskan pada tekanan tetap, kalor yang diperlukan sebesar 3 kJ. Jika dipanaskan pada volume tetap , kalor yang di perlukan sebesar 1,5 kJ. Jika masa molekul relative nitrogen 28 g/ mol, tentukan :
  - a. Tekanan tetap
  - b. Volume tetap
4. Hitunglah perubahan entropi yang terjadi ketika 1,25 kg air bersuhu  $100^{\circ}\text{C}$  dipanaskan hingga menguap pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$





# GELOMBANG & GEJALA-GEJALANYA

## A. Pengertian Gelombang

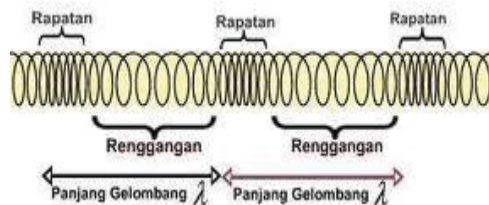
Gelombang merupakan fenomena perambatan energi, dimana gelombang dapat diartikan sebagai usikan atau gangguan yang merambat. Dalam kehidupan sehari-hari fenomena melempar batu ke dalam air akan menimbulkan gelombang di permukaan air merupakan aplikasi dari gelombang.

### 1. Jenis-Jenis Gelombang

Gelombang dapat dikelompokkan berdasarkan arah rambat dan medium perambatannya. Berdasarkan arah rambatnya, gelombang dibedakan menjadi gelombang longitudinal dan gelombang transversal. Sedangkan medium perambatannya, gelombang dibedakan menjadi gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik.

#### a. Gelombang Longitudinal

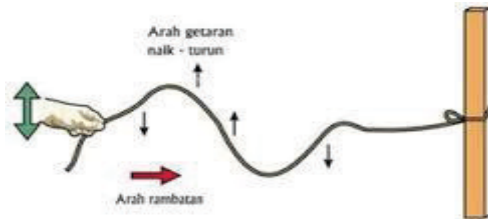
Gelombang Longitudinal adalah gelombang yang arah rambatnya sejajar dengan arah getarnya, misalnya gelombang bunyi, gelombang seismik (gempa), dan gelombang pada slinki.



Gambar 1. Gelombang Longitudinal

### b. Gelombang Transversal

Gelombang Transversal adalah gelombang yang arah rambatnya tegak lurus arah getarnya, misalnya gelombang cahaya dan gelombang pada tali.



Gambar 2. Gelombang Transversal 1

### c. Gelombang Mekanik

Gelombang mekanik adalah gelombang yang memerlukan medium untuk merambat, misalnya gelombang permukaan air (merambat permukaan air (merambat melalui permukaan air) dan gelombang seismik (merambat di permukaan tanah).



Gambar 3. Gelombang Seismik

### d. Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang tidak memerlukan medium untuk merambat. Gelombang ini mampu merambat di ruang hampa. Contoh gelombang radio, gelombang mikro, dan cahaya tampak.



**Gambar 4. Cahaya Tampak**

## **B. Sifat-Sifat Umum Gelombang**

### **a. Sifat-sifat Umum Gelombang**

Gelombang memiliki sifat-sifat umum sebagai berikut:

1. Dapat Dipantulkan (Refleksi)
2. Dapat Dibiaskan (Refraksi)
3. Dapat Dilenturkan (Difraksi)
4. Dapat Dipadukan (Interferensi)
5. Dapat Dikutubkan (Polarisasi)

## **C. Persamaan Gelombang**

Elemen dasar sebuah gelombang adalah getaran. Untuk menyatakan suatu gelombang dalam bentuk persamaan atau fungsi, kita memerlukan informasi tentang karakteristik getaran pembentuknya, yaitu frekuensi ( $f$ ) atau periode ( $T$ ) dan amplitudonya ( $A$ ). Kita juga memerlukan informasi laju ( $v$ ) gelombang itu. Kita bahas dulu persamaan getaranya.

### **1. Persamaan getaranya**

Getaran adalah gerak bolak balik disekitar titik kesetimbangan misalkan, sebuah titik bergetar secara periodik. Jika jarak simpangannya ( $y$ ) diplot terhadap waktu ( $t$ ), kita akan memperoleh kurva fungsi periodik.

Kurva periodic bias berupa kurva sinus maupun cosines, mana yang kita pilih ? jika pada saat awal ( $t = 0$  sekon) simpanganya nol ( $y = 0$ ), fungsi gelombang kita pilih bentuk:

$$y = A \sin 2\pi ft \text{ atau } y =$$

$$A \sin 2\pi \frac{t}{T} \text{ atau } y = A \sin \omega t$$

Dengan  $\omega = 2\pi f$  adalah kecepatan sudut getaran itu. Jika pada awal ( $t = 0$  sekon) simpangan maksimum ( $y = A$ ), fungsi periodiknya kita pilih yang berbetuk:

$$y = A \cos 2\pi ft \text{ atau } y =$$

$$A \cos 2\pi \frac{t}{T} \text{ atau } y =$$

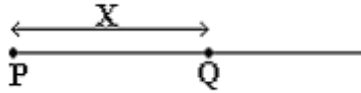
$$A \cos \omega t$$

Kecepatan getaran atau kecepatan dalam arah sumbu  $y$  dapat ditentukan dengan turunan pertama fungsi gelombang terhadap variable waktu. Kecepatan ini bukan kecepatan perambatan gelombang ( $v$ ) sehingga untuk membedakannya kita simbolkan dengan  $v_y$ .

$$v_y = y' = dy/dt$$

## 2. Persamaan gelombang berjalan

Gelombang berjalan memiliki sifat pada setiap titik yang dilalui akan memiliki amplitudo yang sama. Perhatikan gelombang berjalan dari sumber  $P$  ke titik  $Q$  yang berjarak  $X$  pada Gambar 1.8. Bagaimana menentukan simpangan pada titik  $P$ ? Simpangan tersebut dapat ditentukan dari simpangan getarannya dengan menggunakan waktu perjalanannya



Gambar 1.8. Gelombang berjalan dari P ke Q

Dari titik  $P$  merambat getaran yang amplitudonya  $A$ , periodenya  $T$  dan cepat rambat getarannya  $v$ . Bila titik  $P$  telah bergetar  $t$  detik, simpangannya :

$$y_p = A \sin \omega t = A \sin (2\pi t/T)$$

Dari  $P$  ke  $Q$  yang jaraknya  $X$  getaran memerlukan  $x/v$  detik, jadi ketika  $P$  telah bergetar  $t$  detik, titik  $Q$  baru bergetar  $(t - x/v)$  detik. Simpangan  $Q$  saat itu :

$$y_Q = A \sin \left( \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{x}{v} \right) \right)$$

Jadi, persamaan gelombang berjalan adalah :

$$y = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad 1.2$$

$$y = A \sin \left( \frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{\lambda} x \right)$$

$$y = A \sin (\omega t - kx)$$

dengan :

$\lambda$  = panjang gelombang (m)

$T$  = periode gelombang (s)

$\omega$  = frekuensi sudut

$k$  = bilangan gelombang

**Contoh Soal:**

Karakteristik getaran pada sebuah gelombang ditunjukkan oleh persamaan:  $y = 10 \sin 6,28t$ , dengan  $y$  dalam satuan  $cm$  dan  $t$  dalam satuan sekon. Tentukan (a) amplitude, (b) frekuensi sudut, (c) frekuensi gelombang itu, dan besar kecepatan getarnya pada  $t = 2$  sekon!

**Penyelesaian:**

(a)  $A = 10 \text{ cm}$

(b)  $\omega = 6,28 \text{ rad/s}$

(c)  $f = \frac{\omega}{2\pi} = (6,28 \text{ rad/s}) / ((2)(3,14)) = 1 \text{ Hz}$

(d)  $v_y = dy/dt$

$$= \omega A \cos \omega t$$

$$= (6,28 \text{ rad/s})(10 \text{ cm}) \cos ((6,28 \text{ rad/s})(2 \text{ s}))$$

$$= 6,28 \cos (12,56 \text{ rad})$$

$$= 6,28 \cos (4 \pi \text{ rad})$$

$$= 62,8 \text{ cm/s}$$

### 3. Gelombang Stasioner

Gelombang stasioner adalah gelombang yang memiliki amplitudo yang berubah – ubah antara nol sampai nilai maksimum tertentu. Gelombang stasioner dibagi menjadi dua, yaitu gelombang stasioner akibat pemantulan pada ujung terikat dan gelombang stasioner pada ujung bebas.

#### 1) Gelombang Stasioner Pada Ujung Bebas

Pada gelombang stasioner pada ujung bebas gelombang pantul tidak mengalami pembalikan fase. Persamaan gelombang di titik P dapat dituliskan seperti berikut:

$$y_1 = A \sin 2\pi/T (t - (l-x)/v)$$

untuk gelombang datang

$$y_2 = A \sin 2\pi/T (t - (l+x)/v)$$

untuk gelombang pantul

$$y = y_1 + y_2$$

$$= A \sin 2\pi/T (t - (l-x)/v) + A \sin 2\pi/T (t - (l+x)/v)$$

$$y = 2 A \cos kx \sin 2\pi(t/T - 1/\lambda)$$

## 2) Gelombang stasioner pada ujung terikat

Persamaan gelombang datang dan gelombang pantul dapat ditulis sebagai berikut:

$$y_1 = A \sin 2\pi (t/T - (l-x)/\lambda)$$

untuk gelombang datang

$$y_2 = A \sin 2\pi (t/T - (l+x)/\lambda)$$

untuk gelombang pantul

Superposisi gelombang datang dan gelombang pantul di titik  $q$  akan menjadi:

$$y = y_1 + y_2$$

$$y = A \sin 2\pi (t/T - (l-x)/\lambda) - A \sin 2\pi (t/T - (l+x)/\lambda)$$

## D. Energy Gelombang

Gelombang merambatkan energi. Gelombang pada tali bermassa  $m$  dengan amplitude  $A$  dan frekuensi  $f$ , akan merambatkan energy sebesar:

$$E = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 = \frac{1}{2} m (4\pi^2 f^2) A^2 = 2\pi^2 m f^2 A^2$$

## E. Superposisi Dan Interferensi Gelombang

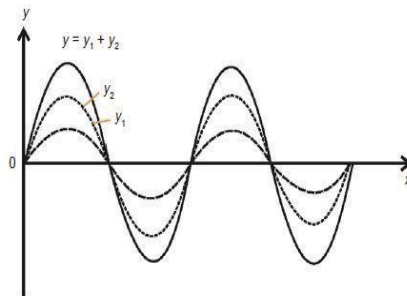
Dua atau lebih gelombang merambat pada medium yang sama dapat saling berinteraksi. Interaksi dua gelombang yang merambat dalam medium yang sama dikenal dengan istilah superposisi. Pergeseran atau simpangan gelombang hasil superposisi dua gelombang dapat ditentukan dengan menumlahkan pergeseran kedua



gelombang itu adalah  $y_1$  dan  $y_2$ , maka pergeseran gelombang hasil superposisinya ditentukan dengan rumus:

$$y = y_1 + y_2$$

Perumusan persamaan gelombang stasioner merupakan salah satu contoh penentuan persamaan gelombang hasil superposisi dua gelombang.

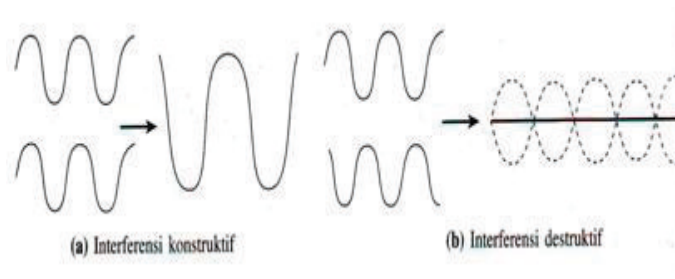


Jika pada suatu tempat bertemu dua buah gelombang, maka resultan gelombang di tempat tersebut sama dengan jumlah dari kedua gelombang tersebut. Peristiwa ini disebut sebagai *prinsip superposisi linear*. Gelombang-gelombang yang terpadu akan mempengaruhi medium. Pengaruh yang ditimbulkan oleh gelombang-gelombang yang terpadu tersebut disebut **interferensi gelombang**.

Ketika mempelajari gelombang stasioner yang dihasilkan oleh superposisi antara gelombang datang dan gelombang pantul oleh ujung bebas atau ujung tetap, Anda dapatkan bahwa pada titik-titik tertentu, disebut *perut*, kedua gelombang saling *memperkuat* (**interferensi konstruktif**), dan dihasilkan amplitudo paling besar, yaitu dua kali amplitudo semula. Sedangkan pada titik-titik tertentu, disebut *simpul*, kedua gelombang saling *memperlemah* atau *meniadakan* (**interferensi destruktif**), dan dihasilkan amplitudo nol.

Dengan menggunakan konsep fase, dapat kita katakan bahwa **interferensi konstruktif** (saling menguatkan) terjadi bila kedua gelombang yang berpadu memiliki fase yang *sama*. Amplitudo gelombang paduan sama dengan dua kali amplitudo tiap gelombang. Interferensi destruktif (saling meniadakan) terjadi bila kedua gelombang yang berpadu *berlawanan* fase. Amplitudo gelombang

paduan sama dengan nol. Interferensi konstruktif dan destruktif mudah dipahami dengan menggunakan ilustrasi pada Gambar



Gambar Interferensi Konstruktif

## F. Tranmisi Dan Refleksi Gelombang

Jika gelombang merambat dari medium 1 ke medium 2 yang berbeda jenisnya, maka akan terjadi Gelombang Transmisi dan Gelombang Refleksi

- A. Transmisi Gelombang adalah Gelombang yang diteruskan ke medium 2
- B. Refleksi Gelombang adalah Gelombang yang dipantulkan kembali ke medium 1

Transmisi gelombang merupakan sisa energi gelombang setelah melewati/menembus suatu struktur penahan gelombang. Gelombang transmisi sangat dipengaruhi pada karakteristik gelombang. Koefisien transmisi ( $t$ ) adalah perbandingan amplitudo gelombang yang ditransmisikan dibandingkan gelombang datang.

Pembelokan berkas yang ditransmisikan disebut refraksi (pembiasan). Pembiasan terjadi karena gelombang memasuki medium yang berbeda dan kecepatan gelombang pada medium awal dan medium yang dimasuki berbeda. Jika arah datang gelombang tidak sejajar dengan garis normal maka pembiasan menyebabkan pembelokan arah rambat gelombang.

Gelombang air yang melalui daerah yang lebih dangkal mengalami perubahan kecepatan, sehingga terjadi pembiasan. Cahaya yang

bergerak dari udara ke air mengalami pembiasan karena perbedaan kecepatan cahaya di udara dan di air.

Pemantulan gelombang (Refleksi), terjadi pada saat sebuah gelombang yang merambat dalam suatu media sampai di bidang batas medium tersebut dengan media lainnya. Dengan demikian, Pemantulan (refleksi) sebuah gelombang adalah bidang batas antara dua medium yang berbeda. Koefisien refleksi ( $r$ ) adalah perbandingan amplitudo gelombang pantul dibandingkan amplitudo gelombang datang.

## RANGKUMAN

- ✚ Gelombang merupakan fenomena perambatan energi, dimana gelombang dapat diartikan sebagai usikan atau gangguan yang merambat.
- ✚ Berdasarkan arah rambatnya, gelombang dibedakan menjadi gelombang longitudinal dan gelombang transversal.
- ✚ Berdasarkan medium perambatannya, gelombang dibedakan menjadi gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik.
- ✚ Sifat-sifat umum gelombang yakni:
  - a. Dapat Dipantulkan (Refleksi)
  - b. Dapat Dibiaskan (Refraksi)
  - c. Dapat Dilenturkan (Difraksi)
  - d. Dapat Dipadukan (Interferensi)
  - e. Dapat Dikutubkan (Polarisasi)
- ✚ Interaksi dua gelombang yang merambat dalam medium yang sama dikenal dengan istilah ***superposisi***.
- ✚ Pengaruh yang ditimbulkan oleh gelombang-gelombang yang terpadu tersebut disebut ***interferensi gelombang***
- ✚ Transmisi gelombang merupakan sisa energi gelombang setelah melewati/menembus suatu struktur penahan gelombang.

## EVALUASI

1. Besaran yang dimiliki baik oleh getaran maupun gelombang ialah:

1. Panjang gelombang
2. Amplitude
3. Cepat rambat
4. Frekuensi

Pernyataan yang benar adalah

- A. 1,2 dan 3
- B. 1 dan 3
- C. 2 dan 4
- D. 4 saja
- E. Semua benar

2. Berikut ini sifat-sifat gelombang longitudinal

1. Terdiri dari rapatan dan renggangan
2. Terdiri dari bukit dan lembah
3. Getarannya sejajar dengan arah rambatnya
4. Satu panjang gelombang adalah jarak dua bukit yang berdekatan

Pernyataan yang benar adalah

- A. 1,2 dan 3
- B. 2,3 dan 4
- C. 1 dan 3
- D. 2 dan 4
- E. 4 saja

3. Gelombang mekanik tidak dapat merambat didalam

- A. Air
- B. Uap panas
- C. Kaca
- D. Logam
- E. Hampa

4. Berapa kalikah dalam satu menit sebuah perahu akan bergerak naik-turun oleh gelombang lautan, yang panjang gelombangnya 40 m dan laju perambatannya 5 m/s ?

- A. 2,5 kali
- B. 5,0 kali
- C. 7,5 kali
- D. 10,0 kali
- E. 12,5 kali

5. Contoh sumber getaran dalam kehidupan sehari-hari :

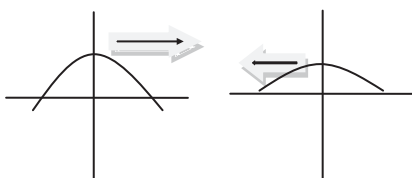
- 1) getaran pada bandul jam
- 2) getaran pegas yang diberi beban
- 3) getaran handphone
- 4) getaran ayunan anak-anak yang sedang dimainkan

Pernyataan yang benar ialah:

- A. 1,2 dan 4
- B. 1 dan 3
- C. 3 dan 4
- D. 4 saja
- E. 1,2 dan 3

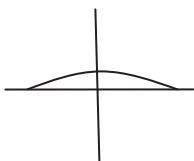
6. Transmisi gelombang merupakan sisa energi gelombang setelah melewati/ menembus suatu struktur penahan gelombang. Disebut apakah gelombang yang diteruskan ke medium 2
- Refleksi
  - Interferensi
  - Transmisi
  - Difraksi
  - Superposisi
7. Disebut apakah pengaruh yang ditimbulkan oleh gelombang-gelombang yang terpadu tersebut:
- Efek Pemantulan
  - Pembiasan
  - Difraksi
  - Efek Doppler
  - Interferensi Gelombang
8. Energi gelombang pada tali:
- Sebanding dengan kuadrat amplitudonya
  - Sebanding dengan kuadrat kecepatan sudut
  - Sebanding dengan kuadrat frekuensi
  - Sebanding dengan rapat massa tali
- Pernyataan yang benar adalah:
- 1,2 dan 3
  - 1 dan 3
  - 2 dan 4
  - 1, ,3 dan 4
  - Semua benar

9.

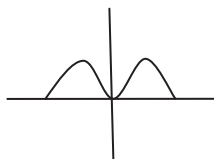


Dua pulsa gelombang seperti dalam gambar diatas akan menghasilkan superposisi yang sesuai dengan

A.



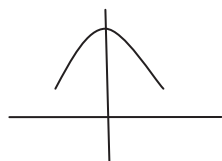
B.



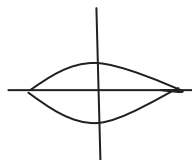
C.



D.



E.



10. Jika suatu gelombang mengalami pemantulan , maka yang tetap adalah

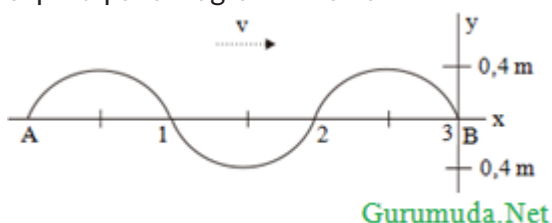
1. Frekuensinya
2. Sudut apit antara muka gelombang dan bidang pemantulan
3. Jarak antara dua muka gelombang
4. Arah rambatnya

Pernyataan tersebut benar, kecuali

- A. 1 saja
- B. 2 saja
- C. 3 saja
- D. 4 saja
- E. 2 dan 3

### Essay:

1. Gelombang merambat dengan kecepatan 10 m/s dan memiliki panjang gelombang 0,4 m. Berapakah frekuensinya ?
2. Gelombang merambat dengan laju 2 m/s dan periodenya 5 sekon. Berapakah panjang gelombangnya ?
3. Gelombang berjalan merambat pada tali ujung tetap dilukiskan seperti pada diagram di bawah ini

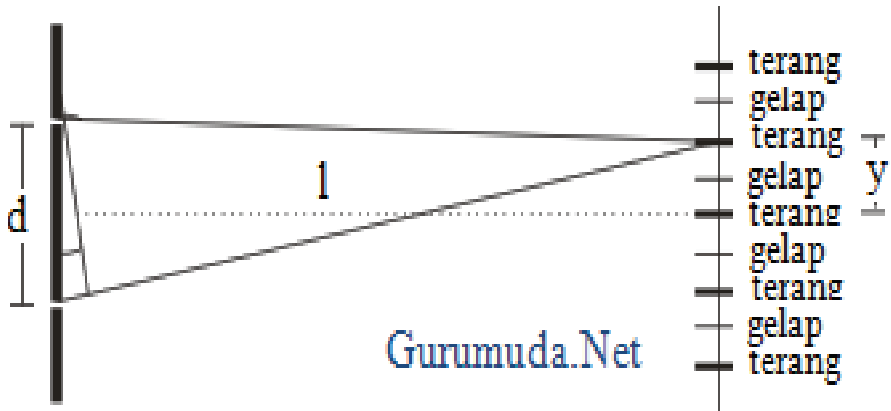


Jika jarak AB = 3 meter ditempuh selama 1 sekon, maka tentukan persamaan gelombang transversal yang merambat ke kanan ?

4. Salah satu ujung tali yang panjangnya 6 m digerakkan ke atas dan kebawah dengan gerak harmonik pada frekuensi 60 Hz. Gelombang mencapai ujung yang lain dalam 0,5 sekon. Hitunglah panjang gelombang pada tali ?



5. Cahaya monokromatik melewati dua celah sempit yang sejajar. Jarak antara kedua celah adalah 0,6 mm. Jarak antara layar dengan kedua celah adalah 60 cm. Pola interferensi yang terjadi pada layar adalah berupa garis terang dan gelap yang dipisahkan oleh jarak yang sama. Jika jarak dua garis terang berdekatan adalah 0,2 mm, tentukan panjang gelombang cahaya yang digunakan.



## PETA KONSEP

### Kata Kunci:

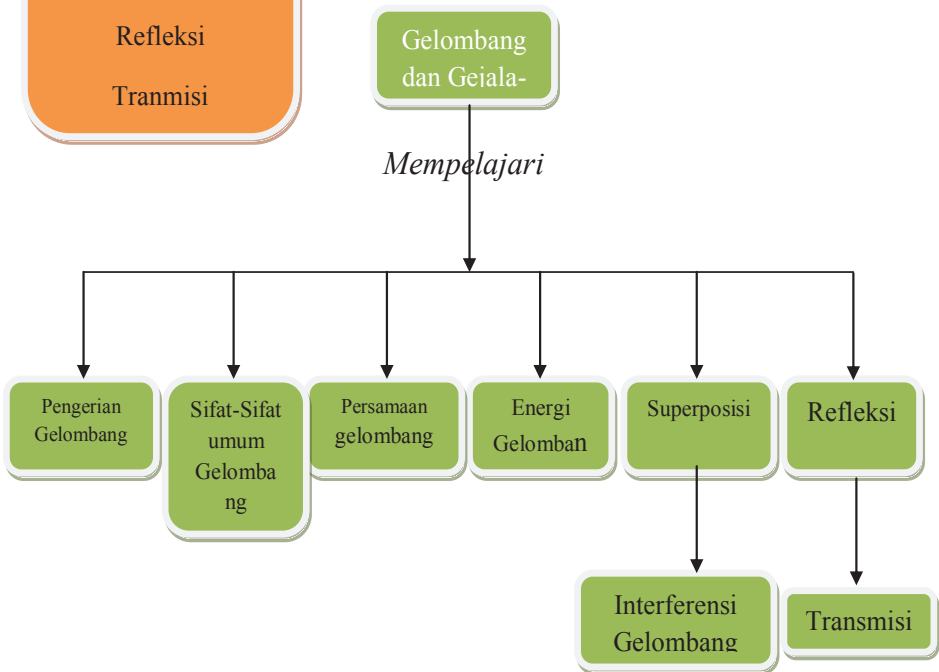
Gelombang

Superposisi

Interferensi

Refleksi

Tranmisi





**BUNYI**

Dalam kehidupan sehari-hari, fenomena gelombang sangat erat kaitannya dengan kita terutama gelombang longitudinal. Gelombang longitudinal yaitu gelombang yang merambat dalam suatu medium, dapat kita contohkan bunyi.

Gelombang bunyi merupakan gelombang yang dapat menyampaikan informasi khususnya tentang gejala, peristiwa, atau identitas suatu benda.

**A. Bunyi Merupakan Gelombang Longitudinal**

Gelombang longitudinal yaitu gelombang yang memiliki arah getaran yang sama dengan arahnya, artinya arah gerakan medium gelombangnya sama atau berlawanan arah dengan perambatan gelombang. ([wikipedia.org/wiki/gelombang\\_longitudinal](http://wikipedia.org/wiki/gelombang_longitudinal)). Bunyi yang kita dengar merupakan rambatan suatu gelombang. Bunyi merupakan gelombang yang merambat melalui medium udara. Bunyi merupakan gelombang yang dapat merambat melalui 3 medium yaitu zat padat, zat cair dan zat gas. Namun gelombang bunyi tidak dapat merambat di ruang hampa udara.

Kecepatan rambat udara dalam berbagai zat pada suhu  $15^{\circ}\text{C}$

ZAT	Cepat rambat bunyi (m/s)
Udara	340
Polietilen	920
Helium	977
Air	1500
Marmer	3810
Kayu	3850
Aluminium	5000
Besi	5120

Bunyi dapat pula dipantulkan atau pun diserap. Jika bunyi mengenai bidang yang keras maka bunyi akan dipantulkan namun jika mengenai bidang yang lembut maka bunyi akan diserap. Beberapa benda yang dapat menyerap bunyi ialah kain wol, karton, gelas, karet, dan besi.

## **B. Frekuensi Dan Tinggi Nada**

Berdasarkan frekuensinya bunyi dapat dikelompokkan dalam 2 kelompok, yaitu bunyi yang frekuensinya teratur serta bunyi yang frekuensinya tidak teratur. Bunyi yang frekuensinya teratur disebut dengan nada sedangkan yang tidak teratur disebut desah. Wanita pada umumnya memiliki nada suara yang lebih tinggi dibandingkan pria, karena frekuensi gelombangnya lebih tinggi. Telinga manusia mampu mendengar bunyi dengan jangkauan frekuensi antara 20 HZ sampai 20000 HZ.

Semakin tinggi frekuensi gelombangnya nada yang didapat semakin tinggi pula, dapat kita contohkan dengan percobaan menggunakan mistar plastik yang ditempelkan pada jari-jari roda sepeda. Pertama kita putar secara perlahan lalu semakin kencang. Semakin kencang putaran roda pada roda maka nada yang didapat semakin tinggi karena frekuensinya semakin tinggi.

## **C. Infrasonik Dan Ultrasonik**

Telah dijelaskan bahwa manusia manusia mampu mendengar bunyi yang memiliki jangkauan frekuensi antara 20 HZ sampai 20000HZ. Bunyi yang memiliki panjang frekuensi kurang dari 20 HZ disebut *infrasonik* sedangkan bunyi yang memiliki panjang gelombang lebih dari 20 HZ disebut *ultrasonik*. Namun ada beberapa makhluk hidup yang mampu mendengar bunyi yang memiliki panjang gelombang yang lebih dari 20000 HZ ialah anjing dan kelelawar. Anjing mampu mendengar bunyi yang memiliki panjang gelombang 50000 HZ sedangkan kelelawar mampu mendengar bunyi yang memiliki panjang gelombang 1000000 HZ.

Gelombang ultrasonik dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari untuk beberapa hal diantara di dimanfaatkan oleh kelelawar untuk navigasi dalam pergerakannya sehingga mampu terbang tanpa

menabrak benda yang ada didepannya. Selain itu gelombang ultrasonik dapat juga dimanfaatkan untuk mengetahui kedalaman dasar laut. Untuk mengukur kedalaman laut dapat digunakan persamaan  $d = \frac{1}{2} v \Delta t$ .

#### D. Amplitudo Dan Kuat Nada

Untuk menentukan hubungan antara amplitudo dan kuat nada dapat ditunjukkan dengan memetik senar sebuah gitar perlahan-lahan. Kemudian ulangi dengan lebih kuat, ternyata pada petikan kedua bunyi yang keluar lebih kuat dibandingkan pada petikan yang pertama. Begitu pula pada saat kita memukulkan garpu tala dengan kekuatan yang berbeda maka bunyi yang didapat memiliki besar yang berbeda pula. Pada kedua benda tersebut senar gitar serta garpu tala yang memiliki bunyi lebih besar berarti memiliki amplitudo yang lebih besar pula. Maka makin besar amplitudonya maka bunyi yang dihasilkan akan semakin besar pula.

#### E. Efek Doppler

Dalam kehidupan sehari-hari kita tentu sering mendengar bunyi disekeliling kita, Kita ambil contoh suara kendaraan. Jika kendaraan mendekati kita maka suara kendaraan itu semakin lama semakin kuat begitu pula saat kendaraan tersebut menjauhi kita maka suara kendaraan tersebut semakin lama semakin pelan. Telah dijelaskan bahwa tinggi rendahnya bunyi ditentukan oleh besarnya panjang gelombang bunyi tersebut. Hal ini dapat disimpulkan bahwa apabila sumber bunyi dan telinga pendengar saling mendekat maka frekuensi yang didengar akan semakin besar begitu pula sebaliknya. Peristiwa ini pertama kali dikemukakan oleh Christian Johann Doppler.

Berikut kita tetapkan  $v_s$  sebagai kecepatan sumber bunyi,  $v$  sebagai cepat rambat bunyi diudara, dan  $v_p$  adalah kecepatan pendengar.  $T_s$  dan  $f_s$  sebagai periode dan frekuensi gelombang yang dipancarkan oleh sumber bunyi, sedangkan  $T_p$  dan  $f_p$  adalah periode dan frekuensi gelombang yang diterima pendengar. Panjang gelombang yang dipancarkan sumber bunyi yang diam dinyatakan dengan persamaan.

$$\lambda_s = v T_s$$

sumber bunyi yang bergerak dengan kecepatan  $v_s$  sehingga panjang gelombang yang diterima pendengar  $\lambda_p$  adalah

$$\lambda_p = \lambda_s - v_s T_s = v T_s - v_s T_s$$

$$\lambda_p = (v - v_s) T_s$$

untuk menentukan periode yang diterima oleh pendengar  $T_p$ , kita harus menentukan dahulu selang waktu yang diperlukan panjang gelombang  $\lambda_p$  untuk sampai pada pendengar. Jika pendengar diam, maka

$$T_p = \lambda_p / v$$

$$T_p = (v - v_s) T_s / v$$

Jika pendengar bergerak dapat dirumuskan dengan

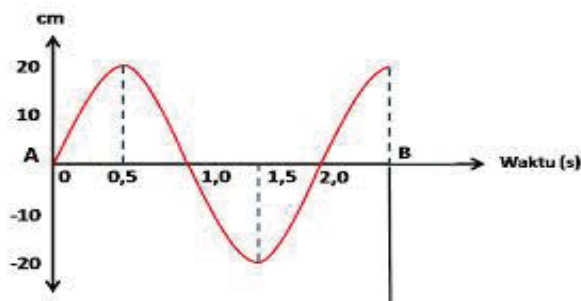
$$T_p = (v - v_s) T_s / v - v_p$$

Namun jika terdapat benda yang bergerak pada kecepatan supersonik, maka persamaan Doppler tidak dapat lagi berlaku.

## F. Cepat Rambat Gelombang

### 1. Cepat Rambat Gelombang Transversal Pada Dawai

Percobaan melde untuk menentukan cepat rambat menunjukkan sebuah *sonometer*, yaitu peralatan yang digunakan oleh melde dalam percobaannya untuk menentukan cepat rambat gelombang transversal pada dawai. Percobaan dilakukan dengan mengganti-ganti beban ( gaya tegangan dawai  $F$  ) dan jenis dawai ( massa per satuan panjang dawai  $\mu = m/l$  ). Dari hasil percobaan melde disimpulkan bahwa cepat rambat gelombang dalam dawai ( $v$ ).



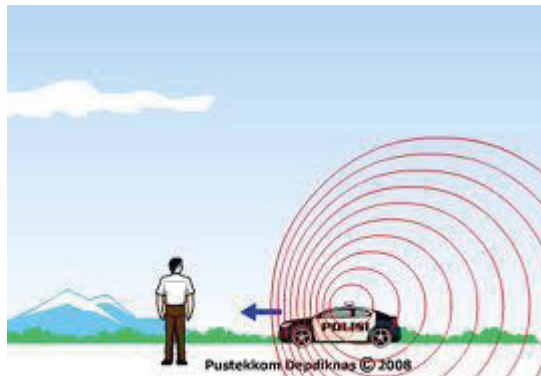
## 2. Cepat Rambat Bunyi

Bunyi merupakan gelombang longitudinal yang dapat merambat dalam medium padat, cair atau gas. cepat rambat bunyi tergantung pada sifat-sifat medium rambat. pada umumnya, cepat rambat bunyi dalam medium padat lebih besar daripada dalam medium cair maupun gas.

- a. *cepat rambat bunyi dalam zat padat*  
cepat rambat bunyi dalam zat padat bergantung pada modulus young dan massa jenis zat padat.
- b. *cepat rambat bunyi dalam zat cair*  
cepat rambat bunyi dalam zat cair bergantung pada modulus bulk dan massa jenis zat cair.
- c. *cepat rambat bunyi pada gas*  
cepat rambat bunyi dalam gas bergantung pada suhu dan jenis gas.

## G. Sumber Bunyi

Gelombang bunyi yang kita dengar sehari-hari dihasilkan oleh sesuatu yang bergetar yang disebut bunyi.



### 1. Senar Sebagai Sumber Bunyi (Resonansi)

Alat musik seperti gitar menggunakan dawai sebagai alat getar, getaran yang terjadi pada senar gitar merupakan gelombang stasioner pada dawai dengan ujung terikat.



Nada terendah yang dihasilkan oleh sumber bunyi disebut nada dasar atau harmonik pertama. selanjutnya, untuk nada yang lebih tinggi secara berurutan disebut nada atas pertama (harmonik kedua), nada atas kedua (harmonik ketiga), dan seterusnya. frekuensi-frekuensi  $f_c, f_1, f_2$ , dan seterusnya disebut frekuensi alami atau frekuensi resonansi.

Resonansi adalah peristiwa ikut bergetarnya suatu benda akibat benda lain yang bergetar. kedua benda yang beresonansi akan memiliki frekuensi yang sama, atau frekuensi benda yang satu merupakan kelipatan frekuensi benda yang lain.

## **2. Pipa Organa Sebagai Sumber Bunyi**

Pipa organa adalah alat yang menggunakan kolom udara sebagai sumber getar. kita mengenal dua jenis pipa organa, yaitu pipa organa terbuka dan pipa organa tertutup.

### **a. Pipa Organa Terbuka**

Pipa organa terbuka merupakan alat tiup berupa tabung yang kedua ujung penampangnya terbuka.

### **b. Pipa Organa Tertutup**

Pipa organa tertutup merupakan alat tiup berupa tabung yang salah satu pipa organa terbuka dan ujungnya terbuka dan ujung lainnya tertutup.

## **H. Energi Gelombang**

### **1. Intensitas Gelombang Bunyi**

Intensitas gelombang bunyi didefinisikan sebagai energi yang dipindahkan per satuan luas per satuan waktu atau daya per satuan luas yang tegak lurus pada arah cepat rambat gelombang.

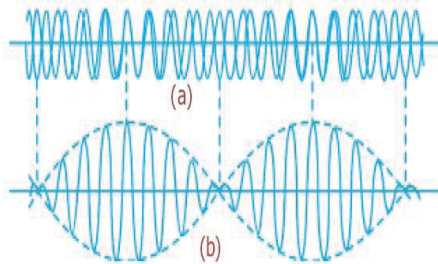
Sumber bunyi menghasilkan suatu gelombang yang merambat ke segala arah. gelombang ini akan bergerak dengan kecepatan konstan jika medium perambatannya homogen dengan muka gelombang berbentuk bola. karena semua titik pada permukaan bola berperilaku sama, maka daya rata-rata yang dipancarkan sumber bunyi akan tersebar secara merata pada permukaan bola seluas  $A = 4\pi r^2$ .

## 2. Taraf Intensitas Bunyi

Telinga manusia memiliki keterbatasan dalam memberikan tanggapan atau respon terhadap rangsangan pendengaran gelombang bunyi. intensitas bunyi terendah yang masih dapat didengar oleh telinga manusia  $10^{-12} \text{ W/m}^2$ , dan disebut intensitas ambang pendengarannya  $I_0$ . intensitas bunyi tertinggi yang masih dapat didengar oleh telinga manusia tanpa menimbulkan rasa sakit adalah  $1 \text{ W/m}^2$ , dan disebut intensitas ambang perasaan.

Mengingat jangkauan intensitas bunyi yang dapat didengar manusia sangat besar, yaitu dari  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  sampai  $1 \text{ W/m}^2$ , maka perlu didefinisikan besaran baru yang menyatakan intensitas dalam bilangan yang lebih kecil. besaran ini disebut taraf intensitas bunyi yang didefinisikan sebagai logaritma.

## 3. Pelayangan Bunyi Aplikasi Interferensi Bunyi



Pada saat dua buah gelombang bunyi yang memiliki amplitudo sama dan merambat dalam arah yang sama, namun memiliki frekuensi yang berbeda sedikit, maka bunyi akan terdengar keras dan lemah secara bergantian, peristiwa ini disebut pelayangan bunyi.

## RANGKUMAN

✚ Cepat rambat terbagi menjadi 2 bagian:

- Cepat rambat gelombang transversal pada dawai
- Cepat rambat bunyi

Bunyi merupakan gelombang longitudinal yang dapat merambat dalam medium padat, cair, atau gas.

✚ Sumber bunyi terbagi menjadi 2 bagian:

- Senar sebagai sumber bunyi
- Pipa organa sebagai sumber bunyi

Pipa organa adalah alat menggunakan kolom udara sebagai sumber getar.

Ada 2 jenis pipa organa, yaitu:

- Pipa organa terbuka

Pipa organa terbuka merupakan alat tiup berupa tabung yang kedua ujung penampangnya terbuka.

- Pipa organa tertutup

Pipa organa tertutup merupakan alat tiup berupa tabung yang salah satu ujungnya terbuka dan ujungnya lainnya tertutup.

✚ Resonansi adalah peristiwa ikut bergetarnya suatu benda akibat benda lain yang bergetar, kedua benda yang beresonansi akan memiliki frekuensi yang sama, atau frekuensi benda yang satu merupakan kelipatan frekuensi benda yang lain. Pelayangan bunyi: aplikasi interferensi bunyi

Pada saat sebuah gelombang bunyi yang memiliki amplitudo sama dan merambat dalam arah yang sama, namun memiliki frekuensi yang berbeda sedikit, maka bunyi akan terdengar keras dan lemah secara bergantian, peristiwa ini disebut pelayangan bunyi.

## EVALUASI

1. Pada saat terjadi kilat, 10 menit kemudian terdengar guntur. Tentukan jarak tepat asal kilat dari pengamat jika kecepatan rambat bunyi diudara 340 m/s.!
  - a. 34 m
  - b. 3400 m
  - c. 0.34 m
  - d. 68 m
  - e. 55 m
2. Manusia memiliki keterbatasan dalam penerimaan terhadap bunyi, telinga manusia hanya mampu mendengar bunyi yang memiliki frekuensi antara?
  - a. 20 – 20000 HZ
  - b. 200 – 2000 HZ
  - c. 200 – 20000 HZ
  - d. 20 – 200 HZ
  - e. 2000 – 20000 HZ
3. Kelelawar merupakan salah satu hewan yang memiliki kemampuan istimewa dalam pendengarannya. Berapakan besarnya frekuensi pendengaran kelelawar?
  - a. 20000 HZ
  - b. 1000 HZ
  - c. 2000 HZ
  - d. 100000 HZ
  - e. 10 HZ

4. Selang waktu yang diperlukan untuk mengirim serta menerima pulsa ultrasonik yang terdeteksi oleh alat pendeteksi adalah 2 s. tentukan kedalaman air dibawah kapal yang membawa alat tersebut jika kecepatan rambat bunyi dalam air 1550 meter.?
- 150 m
  - 155 m
  - 15 m
  - 1550 m
  - 100 m
5. Sebuah bunyi memiliki frekuensi sebesar 400 HZ. Bergerak dengan kecepatan 20 m/s mendekati seorang pengamat yang diam. Tentukan frekuensi yang didengar oleh pengamat jika tidak ada angin?
- 425 HZ
  - 400 HZ
  - 450 HZ
  - 500 HZ
  - 550 HZ
6. resonansi pertama pada tabung resonansi terjadi ketika panjang kolom udara 20 cm.jika laju rambat bunyi udara saat itu adalah 340 m/s,maka frekuensi resonansi saat itu adalah.....
- 350 Hz
  - 425 Hz
  - 500 Hz
  - 525 Hz
  - 675 Hz

7. Sebuah sumber bunyi memancarkan bunyi berdaya 0,0005 watt. jika  $\log 2 = 0,3$ , sedang  $4\pi \approx 12,5$ , maka taraf intensitas bunyi yang didengar pengamat pada jarak 10 m dari sumber adalah.....
- 56 dB
  - 59 dB
  - 64 dB
  - 69 dB
  - 70 dB
8. Pada sebuah percobaan gelombang berdiri digunakan dawai dengan massa per satuan panjang 0,01 gram/cm, panjang 1,5 meter dan diberi beban 160 gram. jika pada dawai terbentuk lima simpul dan empat perut gelombang, dan percepatan gravitasi  $10 \text{ m/s}^2$ , maka frekuensi gelombang dawai itu adalah.....
- 5333 Hz
  - 53,33 Hz
  - 53,3 Hz
  - 5,333 Hz
  - 533,3 Hz
9. Sebuah garpu tala digetarkan di dekat mulut sebuah tabung resonansi. frekuensi garpu tala itu 600 Hz. jika di tempat itu cepat rambat bunyi di udara 330 m/s, maka agar terjadi resonansi tinggi kolom udara dalam tabung resonansi itu minimal....
- 4 m
  - 5,8 cm
  - 8 cm
  - 3,6 cm
  - 7 cm

10. 5.gelombang berfrekuensi 75 Hz merambat pada seutas tali yang mempunyai massa jenis  $2 \times 10^{-3}$  kg/m.berapakah panjang gelombang jika besar tegangan tali 0,45 N.....

- a. 2 cm
- b. 4 m
- c. 20 cm
- d. 5 m
- e. 6 m

## ESAY

1. Jelaskan kembali apa yang dimaksud dengan nada serta desah, serta apa saja yang mempengaruhi besarnya/ tingginya nada!
2. Frekuensi bunyi dibagi atas 2 hal yaitu bunyi infrasonik dan ultrasonik. Sebutkan pengertian keduanya!
3. Sebuah sumber bunyi memiliki frekuensi sebesar 500 HZ bergerak dengan kecepatan 10 m/s mendekati seorang pengamat yang diam. Tentukan frekuensi yang terdengar oleh pengamat jika terdapat angin yang berkecepatan 10 m/s berlawanan arah dengan sumber bunyi.
4. Suatu gelombang sinus merambat pada tali yang panjangnya 100 cm.untuk bergerak dari simpangan minimum ke maksimum,suatu titik memerlukan waktu 0,05 s.tentukanlah:
  - a. Periode gelombang
  - b. Gaya tegangan tali
  - c. Jika panjang gelombang  $\lambda = 0,8$  m dan massa tali 250 g
5. Pada suatu percobaan sonometer terjadi resonansi nada dasar senar dengan sebuah garpu  $\lambda$ tala yang frekuensinya 440 Hz apabila panjang senar 20 cm dan gaya tegangannya 20 N,hitunglah:

- a. Hitung cepat rambat gelombang transversal dalam senar
- b. Jika gaya tegangan tetap, tentukan panjang senar agar resonansi terjadi pada frekuensi 330 Hz
- c. Tentukan besar gaya tegangan yang harus diberikan, jika diinginkan senar beresonansi pada frekuensi 528 Hz untuk panjang senar 25 cm



**Kata Kunci**

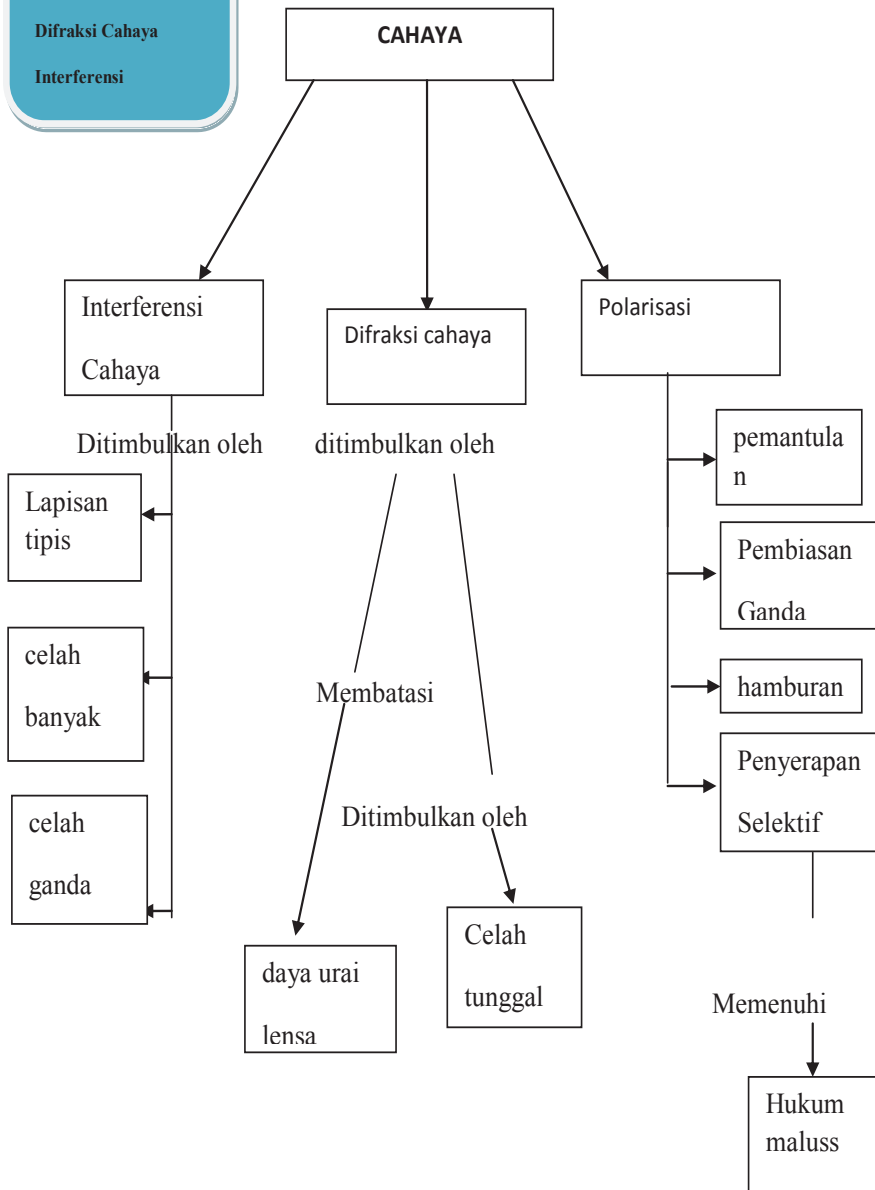
Coulomb

Polarisasi

Difraksi Cahaya

Interferensi

## Peta Konsep



# **CAHAYA DAN OPTIKA FISIS**

## **A. Optika Geometris**

Optika adalah ilmu yang mempelajari tentang cahaya terutama mengkaji sifat-sifat cahaya, hakikat, dan pemanfaatannya untuk mempermudah kegiatan manusia. Dalam ilmu fisika, optika dibedakan menjadi dua yaitu optika fisis dan optika geometris. Optika fisis yaitu ilmu yang mengkaji tentang sifat interferensi, difraksi, dan polarisasi cahaya.

### **1. Pemantulan Cahaya**

Pemantulan cahaya dibedakan menjadi dua jenis yaitu pemantulan baur dan pemantulan teratur.

#### **a. Hukum pemantulan**

- 1) Sinar datang adalah sinar yang dipantulkan oleh permukaan benda.
- 2) Sinar pantul adalah sinar yang dipantulkan oleh permukaan benda.
- 3) Garis normal adalah garis yang dibuat tegak lurus pada permukaan benda.
- 4) Sudut datang adalah sudut antara sinar datang dengan garis normal.
- 5) Sudut pantul adalah sudut antara sinar pantul dengan garis normal.

#### **b. Pemantulan pada cermin datar**

Cermin datar adalah cermin yang mempunyai permukaan pantul berbentuk bidang datar.

### 1) Sifat-sifat bayangan pada cermin datar

- a) Bayangan sama besar dengan bendanya.
- b) Bayangan tegak.
- c) Jarak bayangan ke cermin sama dengan jarak benda ke cermin.
- d) Bayangan tertukar sisinya, artinya bagian kanan benda menjadi bagian kiri bayangan.
- e) Bayangan semu atau maya, artinya tidak dapat ditangkap dengan layar.

### 2) Bayangan yang dibentuk oleh 2 cermin datar dengan sudut lancip

Dua cermin datar yang membentuk sudut lancip ( $\theta$ ) maka jumlah bayangan benda ( $n$ ) yang dibentuk oleh cermin tersebut dapat dicari dengan rumus berikut

$$n = \frac{360}{\alpha} - 1$$

#### Contoh Soal

Dua buah cermin datar membentuk sudut  $\alpha$ . Tentukan jumlah bayangan yang dibentuk oleh kedua cermin tersebut dari sebuah benda yang berada di depan cermin, jika :

- a.  $\alpha = 30^\circ$
- b.  $\alpha = 45^\circ$
- c.  $\alpha = 180^\circ$

#### Penyelesaiannya:

Menggunakan rumus  $n = \frac{360}{\alpha} - 1$

- a.  $n = \frac{360}{30} - 1 = 12 - 1 = 11$  bayangan
- b.  $n = \frac{360}{45} - 1 = 8 - 1 = 7$  bayangan
- c.  $n = \frac{360}{180} - 1 = 2 - 1 = 1$  bayangan

### c. *Pemantulan pada Cermin Lengkung*

Cermin lengkung adalah cermin yang mempunyai permukaan pantul berbentuk lengkung. Cermin lengkung dibedakan menjadi 2 yaitu cermin cekung dan cermin cembung.

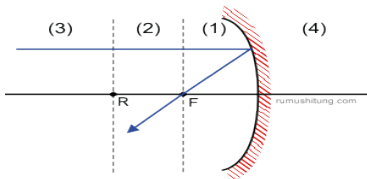
#### 1. *Cermin Cekung*

Cermin cekung bersifat mengumpulkan sinar. Secara geometris dapat dibuktikan bahwa panjang focus ( $f$ ) yaitu jarak cermin ke titik focus besarnya sama dengan setengah panjang jari-jari kelengkungan cermin.

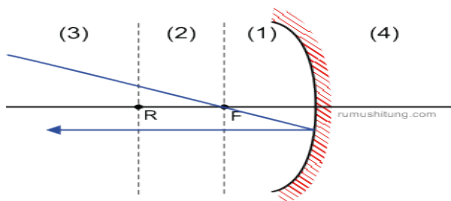
$$f = \frac{R}{2}$$

##### a. *Sifat Cahaya (sinar) yg dipantulkan Cermin Cekung*

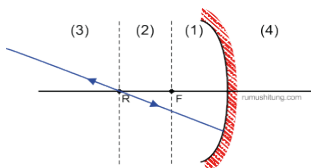
- 1) Sinar datang yang sejajar dengan sumbu utama akan dipantulkan melalui fokus



- 2) Sinar datang yang melewati fokus akan dipantulkann sejajar dengan sumbu utama



- 3) Sinar datang yang melalui titik lengkung (R) akan dipantulkan kembali ke arah yang sama.



b. Rumus Umum Cermin Cekung

$$f = \frac{1}{s} - \frac{1}{s'}$$

Dimana  $f$  = titik focus

$s$  = jarak benda

$s'$  = jarak bayangan

Sedangkan **perbesaran bayangannya** menggunakan rumus

$$M = \frac{s'}{s} = \frac{h'}{h}$$

Dengan:

$M$  = Pembesaran Bayangan

$h'$  = tinggi bayangan

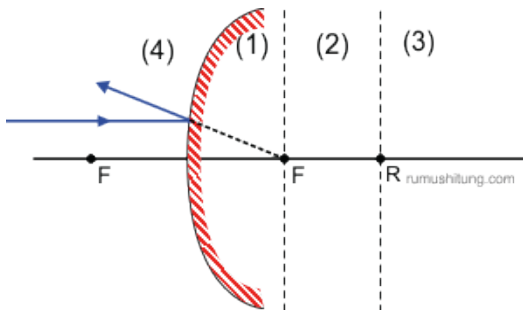
$h$  = tinggi benda

2. **Cermin cembung**

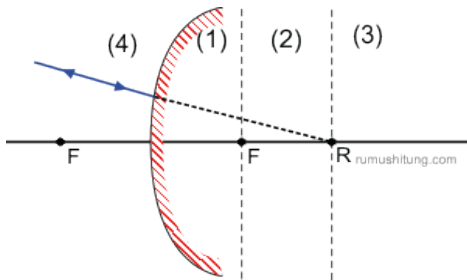
Cermin cembung bersifat menyebarkan sinar. Cermin cembung fokusnya bernilai negatif. Jadi dalam perhitungan matematisnya  $f$  selalu bernilai negatif. Sifat bayang yang dibentuk cermin cembung selalu maya, tegak, dan diperkecil.

a. **Sinar – sinar istimewa yang dipantulkan cermin cembung**

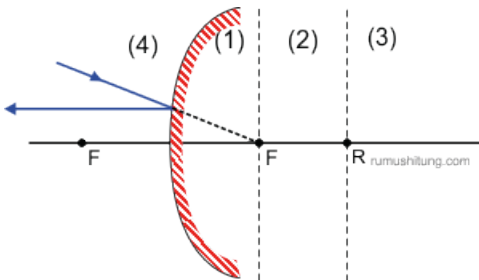
- 1) Sinar datang yang sejajar sumbu utama akan dipantulkan seolah-olah dari fokus



2) Sinar datang yang menuju R akan dipantulkan kembali dari R



3) Sinar datang yang menuju titik fokus akan dipantulkan sejajar dengan



#### 4) Rumus Umum Cermin Cembung

Mencari titik focus. Mencari pembesaran bayangan

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s_o} + \frac{1}{s'}$$

### 3. Pembiasan Cahaya

#### a. Pengertian Pembiasan

Pembiasan cahaya berarti pembelokan arah rambat cahaya saat melewati bidang batas dua medium bening yang berbeda indeks biasnya.

## b. Hukum Pembiasan

Hukum pembiasan cahaya yang selengkapnya dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Sinar datang adalah sinar yang datang pada bidang batas dua medium
2. Sinar bias adalah sinar yang dibiaskan oleh bidang batas dua medium
3. Garis normal adalah garis yang tegak lurus pada bidang batas dua medium
4. Sudut datang (  $i$  ) adalah sudut antara sinar datang dengan garis normal
5. Sudut bias (  $r$  ) adalah sudut antara sinar bias dengan garis normal
6. Indeks bias mutlak suatu medium (  $n$  ) didefinisikan sebagai perbandingan cepat rambat cahaya diruang hampa ( $c$ ) terhadap cepat rambat cahaya dimedium tersebut ( $v$ ). Secara matematis dapat dirumuskan sebagai

$$n = \frac{c}{v}$$

Indeks bias mutlak suatu medium didefinisikan sebagai perbandingan antara cepat rambat cahaya diruang hampa dengan cepat rambat cahaya didalam medium tersebut

$$n_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

Dimana  $n_{12}$  = indeks bias relative medium 1 terhadap medium 2

$n_1$  = indeks bias mutlak medium 1

$n_2$  = indeks bias mutlak medium 2

$v_1$  = laju cahaya dalam medium 1

$v_2$  = laju cahaya dalam medium 2

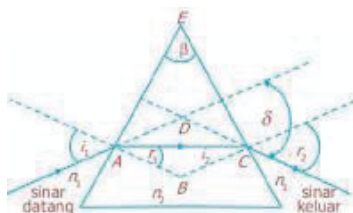
## B. Optika Fisis

### 1. Dispersi Cahaya

Dispersi cahaya adalah peristiwa terurainya cahaya putih yang melewati sebuah prisma menjadi spektrum warna. Dispersi ini terjadi karena perbedaan indeks bias masing – masing warna cahaya. Oleh karena itu, pembahasan pada dispersi aan melibatkan sifat pembiasan cahaya pada prisma.

### 2. Sudut deviasi

Cahaya yang merambat melalui prisma akan mengalami dua kali pembiasan yaitu saat memasuki dan meninggalkan prisma. Apabila sinar yang datang dan sinar yang keluar dari prisma diperpanjang, maka keduanya akan berpotongan pada suatu titik dan membentuk sudut tertentu yang disebut sudut deviasi. Jadi sudut deviasi adalah sudut yang dibentuk dari perpanjangan sinar datang dan sinar keluar dari prisma.



Gambar 2.24

#### Contoh soal 2.13

Seberkas sinar datang dengan sudut datang  $45^\circ$  melwati suatu prisma sama sisi yang berada di udara dan terjadi deviasi minimum. Tentukanlah sudut deviasi minimum?

Penyelesaian

Diketahui :

$$i_1 = 45^\circ$$

$$\beta = 60^\circ$$

$$n_m = 1 \text{ (udara)}$$

jawab = sudut deviasi minimum

$$D_m = 2i_1 - \beta$$

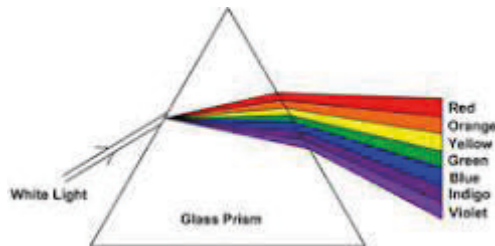
$$= 2(45^\circ) - 60^\circ$$

$$= 30^\circ$$



### 3. Sudut dispersi

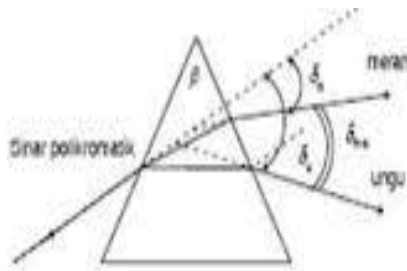
Pada gambar 2.26 tampak bahwa cahaya putih yang melalui prisma diuraikan menjadi spektrum warna yaitu warna merah, jingga,, kuning , hijau, biru , nila dan ungu. Hal ini menunjukkan bahwa sesungguhnya cahaya putih tersebut merupakan gabungan dari ketujuh warna diatas. Cahaya yang merupakan gabungan dari beberapa jenis warna disebut polikromatis. Sedangkan cahaya yang hanya tersiri dari satu warna disebut monokromatis.



Gambar 2.26

Apabila spektrum warna hasil dispersi diurutkan dari warna merah hingga ungu maka diperoleh beberapa sifat : *sudut deviasi semakin besar , indeks bias semakin besar , frekuensi semakin besar dan panjang gelombang semakin kecil.*

Sudut dispersi  $\theta$  menyatakan lebar spektrum yang ditimbulkan oleh prisma yang besarnya bergantung pada selisih antara sudut



deviasi warna ungu dan warna merah.

$$\begin{aligned}\theta &= D_u - D_m \\ &= (n_u - 1) \beta - (n_m - 1) \beta \\ \theta &= (n_u - n_m) \beta\end{aligned}$$

Dengan  $\theta$  = sudut dispersi

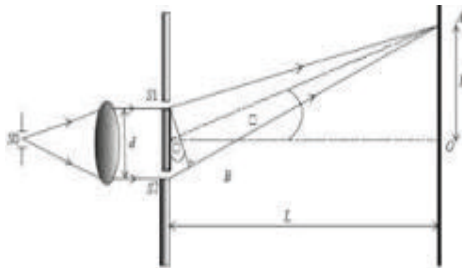
$n_u$  = indeks bias warna ungu

$n_m$  = indeks bias warna merah

$\beta$  = sudut puncak atau sudut pembias prisma

#### 4. Interferensi Cahaya

Interferensi cahaya adalah perpaduan dari dua gelombang cahaya. Apabila kedua gelombang cahaya bersifat *koheren*, yaitu memiliki frekuensi dan amplitudo yang sama ( atau hampir sama ) serta beda fase tetap ( tidak harus nol ) maka hasil inteferensinya memiliki pola yang teratur dan dapat ditangkap pada layar sebagai *garis terang* ( hasil inteferensi maksimum ) dan *garis gelap* ( hasil inteferensi minimum )



##### a. *interferensi celah ganda*

Untuk menganalisis inteferensi cahaya pada celah ganda akan kita gunakan skema percobaan young .

Sumber cahaya

##### b. *Intefereni maksisimum*

##### c. ( *terang* )

Intereferensi maksimum pada celah ganda akan terjadi jika kedua gelombang memiliki fase yang sama, yaitu ketika beda lintasanya sama dengan nol atau kelipatan dari panjang gelombang. Syarat dari interferensi maksimum adalah

$$d \sin \theta = n\lambda ; n = 0,1,2,....$$

bilangan  $n$  menyatakan orde dan nomer terang. Untuk  $n = 0$  disebut maksimum orde ke nol atau terang pusat, untuk  $n = 1$  disebut terang ke- 1 dan seterusnya.

**d. Interferensi minimum (gelap)**

Interferensi minimum pada celah ganda akan terjadi jika kedua gelombang berbeda fase sebesar  $180^\circ$ , yaitu ketika benda lintasanya sama dengan bilangan ganjil kali setengah panjang gelombang. Syarat terjadinya interferensi minimum aialah

$$d \sin \theta = (2n - 1) \frac{1}{2} \lambda$$

$$d \sin \theta = (n - \frac{1}{2}) \lambda ; n = 1, 2, 3 \dots$$

bilangan  $n$  menyatakan orde atau nomer gelap, untuk  $n = 1$  disebut minimum orde ke - 1 atau gelap ke - 1 dan seterusnya

**e. Garis terang dan garis gelap berurutan**

Jarak antara dua garis terang maupun jarak antara dua garis gelap pada interferensi celah ganda adalah sama dan dapat dihitung menggunakan persamaan menggunakan persamaan (2-27) maupun persamaan (2-29) sehingga diperoleh

Untuk dua garis terang maupun dua garis gelap berurutan berarti  $\Delta n = 1$  sehingga jarak antara dua garis terang maupun jarak garis gelap berurutan dapat diperoleh melalui persamaan

$$\frac{\Delta p d}{L} = \Delta n \lambda$$

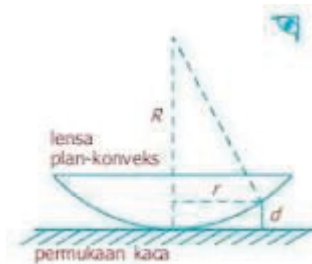
$$\frac{\Delta p d}{L} = \lambda$$

**f. Interferensi lapisan tipis**

Peristiwa interferensi pada lapisan tipis dapatt kita amati pada embun atau gelembung air sabun yang terkena sinar matahari maupun lapisan tipis minyak tanah yang tumpah diatas air sehingga memancarkan warna - warna cahaya tetentu.

### **g. Cincin Newton**

Cincin newton merupakan pola interferensi berupa lingkaran – lingkaran gelap dan terang secara berurutan. Pola interferensi cincin newton inni terjadi jika cahaya yang panjang gelombangnya datang dalam arah tegak lurus pada sisitem optik yang terdiri dari sebuah lensa cembung datar ( plan –konveks ) dengan jari – jari  $R$  diletakan diatas kaca plan paralel seperti tampak gambar



## **5. Difraksi Cahaya**

Difraksi cahaya adalah peristiwa pelenturan gelombang cahaya ketika melewati celah sempit ( lebarnya lebih kecil dari panjang gelombang ) . sehingga gelombang cahaya tampak melebar pada tepi celah. Cahaya tidak lagi menurut garis lurus yang mengakibatkan terjadinya interferensi sehingga tepi – tepi bayangan menjadi kabur.

### **a. Difraksi Celah Tunggal**

Pada difraksi celah tunggal ini kita akan membahas difraksi fraunhofer yaitu difraksi yang dapat diterangkan dengan menggunakan prinsip huygens yang menyatakan bahwa tiap bagian dari celah sebagai sebuah gelombang dengan demikian cahaya dari satu bagian celah berinterferensi dengan bagian cahaya dari bagian lainnya dengan intensitas resultan pada layar bergantung pada sudut  $\theta$ .

### **b. Difraksi Celah Majemuk ( Kisi )**

Kisi adalah peralatan yang memiliki celah yang sangat banyak dengan lebar celah dan jarak antar celah yang sama. Pola difraksi yang dihasilkan oleh kisi lebih jauh tajam bila dibandingkan dengan pola interferensi celah ganda maupun pola difraksi celah tunggal.

### c. Pengaruh Difraksi Terhadap Perbesaran Maksimum Pada Alat Optik

Pada umumnya alat optik memiliki diafragma (bukan cahaya) berbentuk lingkaran. Akibatnya difraksi karena lubang sempit berbentuk lingkaran ini mengurangi kemampuan pemisahan bayangan dari suatu alat optik. Semakin besar diafragma suatu alat optik, maka akan semakin besar daya urainya. Daya urai suatu alat optik adalah kemampuan alat optik untuk menghasilkan bayangan yang terpisah dari dua benda yang berdekatan.

Suatu kriteria yang menyatakan bagaimana bayangan dari dua benda titik masih dapat dipisahkan dengan baik oleh suatu alat optik disebut kriteria Rayleigh yaitu :

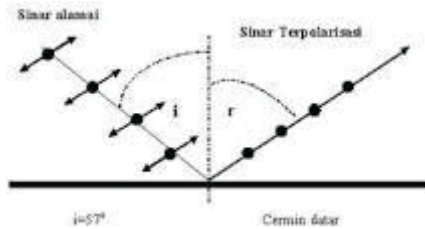
### 6. Polarisasi Cahaya

*Dua titik sumber dapat dilihat terpisah bila pusat pola difraksi sumber pertama berhimpit dengan minimum pertama pola difraksi sumber kedua*

Peristiwa interferensi dan difraksi dapat dialami oleh gelombang transversal maupun gelombang longitudinal. Akan tetapi peristiwa polarisasi hanya dapat dialami oleh gelombang transversal. Fakta bahwa cahaya dapat mengalami polarisasi menunjukkan bahwa cahaya merupakan gelombang transversal. Pada umumnya cahaya memiliki beberapa arah getar. Apabila suatu gelombang hanya memiliki satu arah getar, maka disebut gelombang terpolarisasi. Oleh karena itu, polarisasi adalah peristiwa terserapnya sebagian arah getar gelombang sehingga hanya tinggal memiliki satu arah getar saja. Cahaya dapat terpolarisasi karena peristiwa pemantulan, pembiasan dan pemantulan, bias kembar, absorpsi selektif, dan hamburan.

#### a. Polarisasi karena pemantulan

Suatu sinar yang datang pada cermin datar dengan sudut  $57^\circ$  akan menghasilkan sinar pantul yang terpolarisasi seperti tampak pada gambar.



Polarisasi karena pemantulan

**b. Polarisasi karena pembiasan dan pemantulan**

Pada peristiwa pembiasan dan pemantulan akan dihasilkan sinar pantul yang terpolarisasi sempurna jika sudut datang  $i$  menghasilkan sudut bias  $r$  tegak lurus dengan sinar pantul. sudut datang seperti ini disebut sudut polarisasi  $i_p$  sudut Brewster.

**c. Polarisasi karena bias kembar ( pembiasan ganda )**

Cahaya yang melewati kaca, pada umumnya bergerak dengan kelajuan yang sama ke segala arah karena hanya memiliki satu indeks bias. Akan tetapi bahan – bahan kristal tertentu seperti kalsit dan kuarsa memiliki dua indeks bias sehingga kelajuan cahaya tidak sama untuk segala arah. Hal ini menyebabkan cahaya mengalami pembiasan ganda.

**d. Polarisasi karena absorpsi selektif**

Suatu bahan tertentu misalnya polaroid dapat menyerap berbagai arah getar sinar yang melaluinya dan mentransmisikan ke satu arah tertentu sumbu mudah polaroid. Polaroid sering digunakan pada kacamata pelindung sinar matahari dan pada filter polarisasi lensa kamera.

Untuk menentukan arah polarisasi dengan intensitas cahaya yang ditransmisikan digunakan untuk dua buah polaroid.

**e. Polarisasi karena hamburan**

Hamburan adalah peristiwa penyerapan dan pemancaran kembali suatu cahaya oleh sistem partikel. Apabila gelombang cahaya yang tidak terpolarisasi datang pada sistem partikel gas, maka gelombang cahaya yang dihamburkan kesamping dapat terpolarisasi sebagian

atau seluruhnya. Arah polarisasi gelombang cahaya adalah sedemikian rupa sehingga tegak lurus terhadap bidang yang dibentuk oleh garis sinar datang dengan garis penglihatan.

#### **f. Pemutaran bidang polarisasi**

Apabila gelombang cahaya terpolarisasi melewati zat optik aktif, misalnya larutan gula pasir, maka arah polarisasinya dapat berputar seperti ditunjukkan gambar 2.38. besarnya sudut perubahan arah polarisasi cahaya  $\theta$  bergantung pada konsentrasi larutan  $c$  panjang larutan  $l$  dan sudut putar jenis larutan  $\alpha$ . Hubungan ini dapat dituliskan secara matematis.

### **7. Efek Doppler Pada Gelombang Elektromagnetik**

Gelombang elektromagnetik seperti cahaya tidak memerlukan medium untuk merambat. Kelajuan gelombang elektromagnetik  $c$  besarnya sama dengan terhasap semua kerangka acuan baik sumber atau pengamat yang diam ataupun yang bergerak. Karena tidak ada medium sebagai acuan kelajuan gerak gelombang elektromagnetik maka efek doppler pada gelombang elektromagnetik hanya bergantung pada kecepatan relatif  $v$  antara sumber dan pengamat.

#### **a. Aplikasi efek doppler pada gelombang elektromagnetik**

Efek doppler digunakan pada pengukuran kecepatan radial gerak benda langit seperti bintang, planet, satelit, komet atau galaksi terhadap bumi. Gerak benda langit terhadap bumi mengakibatkan pergeseran spektrum cahaya yang dipancarkan. Jika sebuah benda mendekati bumi maka akan tampak pergeseran biru, sedangkan jika bintang tersebut menjauh akan berwarna pergeseran merah. Pada tahun 1992 seorang astronomi Amerika Edwin Hubble mempublikasikan penelitiannya bahwa galaksi – galaksi yang jauh bergerak menjauhi bumi karena cahaya yang dipancarkan bergeser menuju panjang gelombang yang lebih panjang, yaitu gelombang cahaya merah (pergeseran merah) kelajuan galaksi relatif terhadap bumi dapat ditentukan dengan mengukur pergeseran ini.

## RANGKUMAN



Cepat rambat terbagi menjadi 2 bagian:

- Cepat rambat gelombang transversal pada dawai
- Cepat rambat bunyi

Bunyi merupakan gelombang longitudinal yang dapat merambat dalam medium padat, cair, atau gas.



Sumber bunyi terbagi menjadi 2 bagian:

- Senar sebagai sumber bunyi
- Pipa organa sebagai sumber bunyi

Pipa organa adalah alat menggunakan kolom udara sebagai sumber getar.

Ada 2 jenis pipa organa, yaitu:

- Pipa organa terbuka

Pipa organa terbuka merupakan alat tiup berupa tabung yang kedua ujung penampangnya terbuka.

- Pipa organa tertutup

Pipa organa tertutup merupakan alat tiup berupa tabung yang salah satu ujungnya terbuka dan ujungnya lainnya tertutup.



Resonansi adalah peristiwa ikut bergetarnya suatu benda akibat benda lain yang bergetar, kedua benda yang beresonansi akan memiliki frekuensi yang sama, atau frekuensi benda yang satu merupakan kelipatan frekuensi benda yang lain. Pelayangan bunyi: aplikasi interferensi bunyi

Pada saat sebuah gelombang bunyi yang memiliki amplitudo sama dan merambat dalam arah yang sama, namun memiliki frekuensi yang berbeda sedikit, maka bunyi akan terdengar keras dan lemah secara bergantian, peristiwa ini disebut pelayangan bunyi.



## EVALUASI

1. Cahaya matahari datang pada permukaan air yang indeks biasnya  $\frac{4}{3}$  sehingga menghasilkan cahaya pantul terpolarisasi linear. Berapakah sudut polarisasi dan sudut biasnya?
  - a.  $53^\circ$  dan  $37^\circ$
  - b.  $54^\circ$  dan  $37^\circ$
  - c.  $53^\circ$  dan  $38^\circ$
  - d.  $54^\circ$  dan  $38^\circ$
  - e.  $55^\circ$  dan  $37^\circ$
2. Seberkas sinar dengan sudut datang  $45^\circ$  melewati suatu prisma sama sisi yang berada di udara dan terjadi deviasi minimum, berapakah deviasi minimum tersebut ?
  - a.  $15^\circ$
  - b.  $20^\circ$
  - c.  $25^\circ$
  - d.  $30^\circ$
  - e.  $45^\circ$
3. Sifat yang terjadi pada cermin cembung adalah...
  - a. Maya, tegak, dan diperbesar.
  - b. Nyata, tegak, dan diperbesar.
  - c. Maya, terbalik, dan diperbesar.
  - d. Nyata, terbalik, dan diperkecil.
  - e. Maya, tegak, dan diperkecil.
4. Pada percobaan interferensi cincin newton digunakan cahaya dengan panjang gelombang  $\lambda = 5700 \text{ \AA}$ . Hasil pengamatan menunjukkan jari-jari lingkaran gelap kesepuluh adalah 6 mm. Berapakah jari-jari kelengkungan lensa tersebut ?
  - a. 4,23 m
  - b. 4,32 m
  - c. 6,32 m
  - d. 6,23 m
  - e. 6,00 m

5. Jarak antara kedua celah dan jarak celah kelayar pada percobaan young masing-masing adalah 1,5 mm dan 2 m. Apabila panjang gelombang yang digunakan adalah 600 mm. Maka, jarak antara gelap keempat dengan terang pusat adalah...
- a. 2,2 mm      d. 4,2 mm
  - b. 2,4 mm      e. 8,2 mm
  - c. 2,8 mm
6. Berapakah kecepatan cahaya di suatu medium yang indeks biasnya 1,6?
- a.  $1,88 \times 10^8$  m/s
  - b.  $188 \times 10^8$  m/s
  - c.  $18,8 \times 10^8$  m/s
  - d.  $10,8 \times 10^8$  m/s
  - e.  $108 \times 10^8$  m/s
7. Cepat rambat cahaya di medium A besarnya  $2 \times 10^8$  m/s. Bila cepat rambat cahaya di ruang hampa:  $3 \times 10^8$  m/s, berapakah indeks bias mutlak medium itu?
- a. 15 m/s      d. 10 m/s
  - b. 1,5 m/s      e. 14 m/s
  - c. 51 m/s
8. Sebuah benda setinggi 1 cm di depan cermin cekung dengan fokus 2 cm, jika benda berada pada jarak 3 cm, tentukan jarak Bayangan S'?
- a. 7 cm      d. 4 cm
  - b. 3cm      e. 9cm
  - c. 6 cm

9. Sifat bayangan yang dibentuk oleh cermin datar adalah ?
- Maya , tegak , diperbesar
  - Nyata, terbalik , diperkecil
  - Nyata, tegak , diperbesar
  - Maya, tegak , diperkecil
  - Nyata, terbalik , diperbesar
10. Ada beberapa pengertian yang perlu dipahami sebelum membahas tentang hukum pemantulan, yaitu:
- Sinar datang adalah sinar yang dipantulkan oleh permukaan benda.
  - Sinar datang adalah sinar yang tidak dipantulkan
  - Sinar datang adalah sinar yang dapat diperbesar
  - Sinar yang dapat dipantulkan
  - Sinar dapat dipantulkan

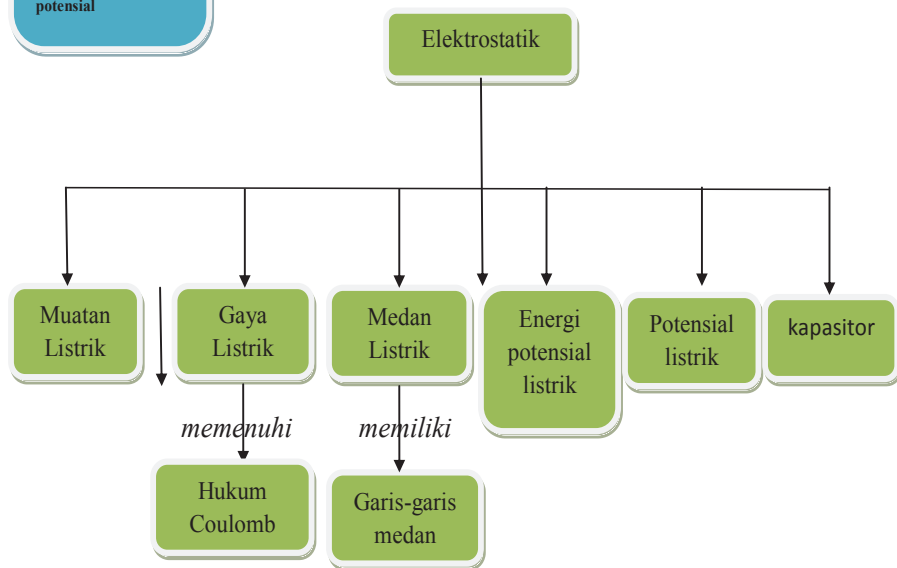
## Essay

- Sebuah benda diletakkan 4 cm di depan cermin cembung yang berfokus 6 cm. Letak bayangan yang terbentuk adalah ...
- Sifat bayangan Sebuah benda setinggi 1 cm di depan cermin cekung dengan fokus 2 cm, jika benda berada pada jarak 3 cm, tentukan
  - jarak Bayangan ( $S'$ )
  - sifat bayangan
- Sebuah lensa konfak konveks mempunyai jari-jari kelengkungan 10 cm dan 12 cm terbuat dari kaca dengan indeks bias 1,6. Tentukan fokus lensa ?
- Cepat rambat cahaya di dalam kaca:  $2,00 \times 10^8$  m/s dan cepat rambat cahaya di dalam air:  $2,25 \times 10^8$  m/s.

5. Sebuah lensa plankonkaf mempunyai panjang fokus  $-25\text{cm}$ . Jari-jari kelengkungan salah satu permukaannya  $12\text{ cm}$ . Hitung indeks bias lensa.



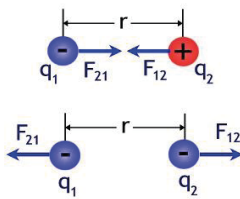
## Peta Konsep



# ELEKTROSTATIKA DAN KAPASITOR

## A. MUATAN LISTRIK

Ada dua jenis muatan listrik, yaitu muatan positif dan muatan negative. Muatan sejenis akan saling menolak, sedangkan muatan yang berbeda jenis akan saling menarik.



Gambar 4.1 muatan sejenis akan saling menolak, muatan tak sejenis akan saling menarik

### 1. *Electron, Proton, dan Neutron*

Muatan listrik merupakan karakteristik dasar yang dimiliki partikel-partikel penyusun atom. Secara umum, atom terdiri atas electron dan inti atom. Inti atom terdiri atas proton dan neutron. Electron bermuatan negatif, proton bermuatan positif, sedangkan neutron tidak bermuatan.

Table 4.1 Massa dan Besar Muatan

Partikel	Massa	Muatan
Elektron	$9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$	$1,6 \times 10^{-19} \text{ C } (-e)$
Proton	$1,672 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$+1,6 \times 10^{-19} \text{ C } (+e)$
Neutron	$1,674 \times 10^{-27} \text{ kg}$	0

Atom netral memiliki jumlah electron dan jumlah proton yang sama. Pada atom positif, protonnya lebih banyak dari pada electron.

Sebaliknya, pada atom negatif, protonnya lebih sedikit dari pada electron.

Dalam interaksi antaratom, partikel yang memiliki kecenderungan berpindah dari satu benda ke benda lain adalah electron. Atom netral akan bermuatan negatif jika memperoleh tambahan electron. Sebaliknya, atom netral akan bermuatan positif jika kehilangan electron.

## **2. Memberi Muatan Listrik pada Benda**

Suatu benda netral bias diubah menjadi bermuatan. Pemberian muatan listrik pada benda dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu:

- a) Menggosoknya ( listrik yang timbul disebut triboelektrik )
- b) Konduksi ( menghubungkannya pada benda bermuatan), dan
- c) Induksi ( mendekatkannya pada benda bermuatan)

Cara yang pertama diatas adalah cara yang kita gunakan pada pengamatan efek elektrostatik diawal bab ini. Silinder kaca yang semula netral, akhirnya menjadi bermuatan setelah digosok dengan kertas tisu. Akibatnya, silinder mampu menarik potongan kertas.

## **B. Hukum Coulomb**

### **a. Formulasi Hukum Coulomb**

Dua muatan sejenis akan saling menolak, sedangkan dua muatan berbedajenis akan saling menarik. Tolakan dan tarikan merupakan bentuk gaya. Jadi, diantara dua muatan yang berdekatan tentulah ada gaya.

Berdasarkan eksperimen **Charles Augustin de Coulomb**, Coulomb memperoleh kesimpulan bahwa:

*Besar gaya listrik ( $F$ ) antara dua partikel bermuatan  $q_1$  dan  $q_2$  yang terpisah sejauh  $r$  adalh sebanding dengan hasil kali kedua muatan itu dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar keduanya.*

Pernyataan diatas dikenal sebagai hukum coulomb yang bentuk matematis adalah:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Keterangan:

$k$  = konstanta kesebandingan =  $9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}$

$\epsilon_0$  = permitivitas ruang hampa =  $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$ .

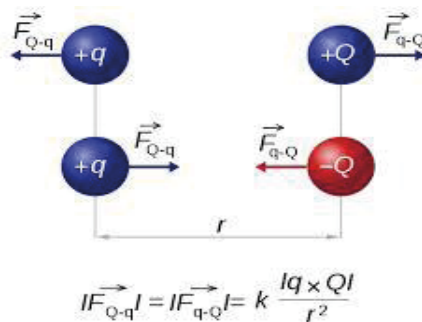
Gaya Coulomb merupakan besaran vector. Arah gaya Coulomb dapat ditentukan dengan mempertimbangkan jenis kedua muatan yang berinteraksi ( lihat gambar 4.2 )



gambar 4.2

Gaya yang dialami muatan pertama oleh muatan kedua (  $F_{1,2}$  ) sama besar dengan gaya yang dialami muatan kedua oleh muatan pertama (  $F_{2,1}$  ), tetapi arahnya berlawanan. Dalam notasi vector dapat dinyatakan bahwa:

$$F_{1,2} = F_{2,1} \quad (4-2)$$





gambar 4.3

**Contoh Soal:**

Dua buah partikel masing-masing bermuatan  $2 \mu\text{C}$  dan  $3 \mu\text{C}$  terpisah sejauh  $4 \text{ cm}$ . hitunglah besar gaya elektrostatik yang terjadi!

Jawab:

$$q_1 = 2 \mu\text{C} = 2 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$q_2 = 3 \mu\text{C} = 3 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$r = 4 \text{ cm} = 4 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C} \frac{(2 \times 10^{-6} \text{ C})(3 \times 10^{-6} \text{ C})}{(4 \times 10^{-2} \text{ m})^2}$$

$$= 33,75 \text{ N}$$

### C. Medan Listrik

Sebuah muatan listrik  $q$  akan mempengaruhi muatan-muatan lain disekitarnya sehingga muatan-muatan lain itu akan mengalami gaya listrik. Muatan  $q$  membentuk medan gaya listrik. Medan gaya listrik ini sering disingkat sebagai medan listrik.

#### 1. Medan listrik oleh muatan tunggal

Medan listrik merupakan besaran vector yang biasa dilambangkan dengan  $E$ . perhatikan gambar 4.4. bagaimana cara menentukan medan listrik oleh muatan  $q$  ditiit  $P$ ?



**Gambar 4.4 : sebuah muatan positif  $q$  menimbulkan medan listrik disekitarnya**

Medan listrik disuatu titik oleh suatu muatan  $q$  didefinisikan sebagai gaya listrik yang akan bekerja tiap 1 coulomb muatan uji positif  $q_0$  dititik tersebut!

Dalam bentuk vector, medan listrik oleh muatan  $q$  pada muatan uji  $q_0$  dinyatakan sebagai:

$$E = \frac{F}{q_0} \text{ dengan } F \text{ adalah gaya listrik} \quad (4-3)$$

Besar medan listrik sering disebut kuat medan listrik ( $E$ ).

*Kuat medan listrik disuatu titik berjarak  $r$  dari muatan sumber  $q$  didefinisikan sebagai besar gaya listrik tiap 1 coulomb muatan uji  $q_0$  dititik tersebut.*

Secara matematis:

$$E = \frac{F}{q_0} = k \frac{q q_0}{r^2 q_0}$$

Atau

$$E = k \frac{q}{r^2}$$

Satuan SI untuk medan listrik adalah N/C

#### Contoh Soal:

Hitunglah kuat medan listrik di suatu titik berjarak 8 cm dari sebuah muatan sumber  $0,1 \mu\text{C}$ !

Jawab:

$$q = 0,1 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$r = 8 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$E = k \frac{q}{r^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C} \frac{(0,1 \times 10^{-6} \text{ C})}{(8 \times 10^{-2} \text{ m})^2}$$

$$= 140.625 \text{ N/C}$$

## 2. Medan Listrik oleh Muatan Majemuk

Untuk system banyak muatan, medan listrik disuatu titik dapat ditentukan dengan prinsip superposisi. Medan listrik disuatu titik merupakan jumlah ( vector ) dari medan-medan yang disebabkan oleh setiap muatan.

Perhatikan gambar 4.5. Medan listrik dititik P dapat ditentukan dengan menjumlahkan medan-medan dari setiap muatan penyebabnya secara vector.

Medan listrik dititik P pada gambar 4.5 dapat ditentukan dengan rumus:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 \quad (4-6)$$

Dengan mempertimbangkan arah vector, kuat medan listrik di titik P pada gambar 4.5 dapat ditentukan dengan rumus:

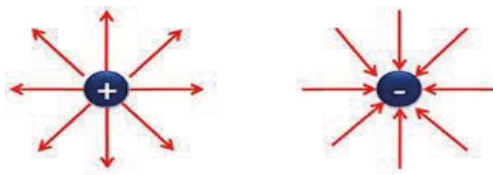
$$|E| = |E_1| - |E_2| + |E_3| + |E_4|$$

Atau

$$E = E_1 - E_2 + E_3 + E_4. \quad (4-7)$$

## 3. Garis-garis Medan Listrik

Kuat lemahnya medan listrik disuatu titik ditunjukan oleh garis-garis medan listrik. Konsep garis-garis medan listrik ini diperkenalkan oleh Michael Faraday. Garis-garis medan listrik digambarkan memancar keluar dari muatan positif sdan menuju muatan negative. Makin rapat garis medannya, makin kuat medan listriknya.



Gbr 14. Garis gaya listrik

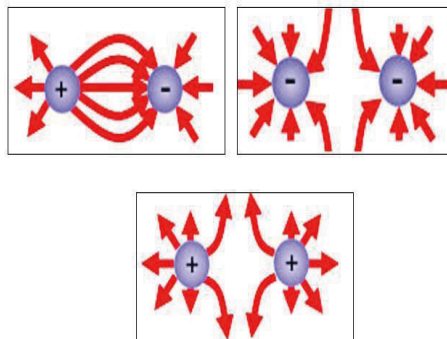
Gambar 4.6 : garis-garis medan listrik memancar dari muatan positif dan menuju muatan negative. (a) arah garis medan listrik jika

muatannya positif. (b) arah garis-garis medan listrik jika muatannya negative.

Ada beberapa aturan untuk menggambarkan medan listrik yaitu:

- Garis medan bermula dari muatan positif menuju muatan negative
- Banyaknya garis gaya meninggalkan muatan positif atau menuju muatan negative sebanding dengan besar muatan.
- Tak ada dua garis medan yang saling bersilang

Beberapa pola garis medan berdasarkan aturan diatas diamati pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 pola-pola garis medan listrik antara (a) antara muatan positif dan muatan negative, (b) dua muatan negative dan (c) dua muatan positif.

#### D. Energi Potensial Listrik dan Potensial Listrik

Untuk membahas energy potensial listrik, kita ingat kembali konsep medan listrik dan gaya elektrostatis. Kuat medan listrik pada jarak  $r$  oleh sebuah muatan  $q$  adalah  $E=k|q|/r^2$ . Gaya elektrostatis yang dialami sebuah muatan lain  $q_0$  yang berjarak  $r$  dari muatan  $q$  adalah sebesar

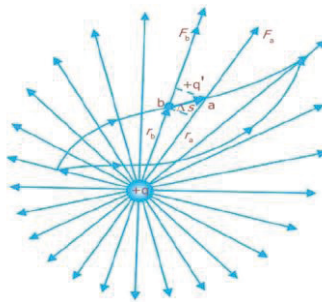
$$\mathbf{F} = \frac{k|qq_0|}{r^2} = q_0 \mathbf{E}$$

Dalam mekanika, kamu juga sudah mempelajari konsep usaha (  $W$  ) yang merupakan hasil kali antara gaya (  $F$  ) dan perpindahan  $\Delta s$ ,

$$W = F\Delta s.$$

## 1. Energi Potensial Listrik

Energi potensial listrik merupakan besaran skalar. Energi potensial listrik (  $E_p$  ) disuatu titik b didefinisikan sebagai besar usaha (  $W$  ) yang dilakukan oleh muatan  $q$  untuk memindahkan muatan uji  $q_0$  dari titik a pada jarak tak hingga (  $r_a = \infty$  ) ke titik b yang berjarak  $r_b$  dari  $q$



Gambar4.8

$$E_{p(b)} = W_{a-b} = kqq_0 \left( \frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_a} \right)$$

Oleh karena jarak  $r_a$  tak hingga, maka  $1/r_a$  bernilai nol dan energy potensial di titik b dapat dirumuskan dengan

$$E_{p(b)} = W_{a-b} = kqq_0 \left( \frac{1}{r_b} - 0 \right) = \frac{kqq_0}{r_b}$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa energi potensial pada muatan uji  $q_0$  yang berada pada jarak  $r$  dari muatan  $q$  adalah

$$E_p = \frac{k|qq_0|}{r}$$

### Contoh Soal:

Sebuah muatan positif ( $q = 1,6 \times 10^{-9} \text{ C}$ ) digerakkan menuju sebuah inti atom yang bermuatan  $Q$ . Jarak pisah awal kedua partikel tersebut adalah  $2 \times 10^{-11} \text{ m}$  dan jarak pisah akhirnya adalah  $1,5 \times 10^{-11} \text{ m}$ . Jika usaha yang diperlukan untuk memindahkan  $1,44 \times 10^{-17} \text{ J}$ , tentukan muatan inti atom tersebut

**Jawab:**

Diketahui:

$$q = 1,6 \times 10^{-9} \text{ C}$$

$$r_1 = 2 \times 10^{-11} \text{ m}$$

$$r_2 = 1,5 \times 10^{-11} \text{ m}$$

$$W_{12} = 1,44 \times 10^{-17} \text{ J}$$

Jawab:

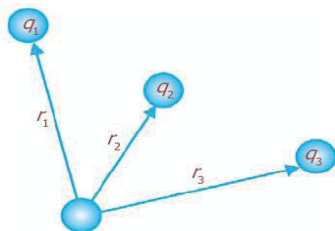
$$W_{a-b} = kq q_0 \left( \frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_a} \right)$$

$$1,44 \times 10^{-17} = (9 \times 10^9)(1,6 \times 10^{-19} \text{ C})(q_0) \left( \frac{1}{1,5 \times 10^{-11}} - \frac{1}{2 \times 10^{-11} \text{ m}} \right)$$

$$Q_0 = 6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

## 2. Potensial Listrik

Potensial listrik ( $V$ ) atau sering disebut sebagai “potensial” saja merupakan besaran skalar yang didefinisikan sebagai besarnya energi potensial listrik tiap satu satuan muatan uji.



gambar 4.9

Jika energi potensial pada muatan uji  $q_0$  yang berada pada jarak  $r$  dari muatan  $q$  adalah

$$E_p = \frac{k|qq_0|}{r}$$

Maka potensial listrik titik itu adalah

$$V = \frac{E_p}{q_0} = \frac{k|qq_0|}{r|q_0|} = \frac{k|q|}{r}$$

Satuan SI untuk potensial listrik adalah joule/coulomb atau Volt ( V ).

#### a. Potensial Listrik Oleh Muatan Majemuk

Jika sebuah titik dipengaruhi satu muatan sumber, berlaku prinsip superposisi,

$$V_{\text{total}} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = V_n$$

Jika muatan-muatan sumber itu  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ , maka potensial listriknya dapat dinyatakan dalam bentuk

$$V = k \left( \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \dots + \frac{q_n}{r_n} \right) = k \sum \frac{q_n}{r_n}$$

#### b. Potensial Listrik oleh Bola Konduktor Bermuatan Homogen

Jika sebuah bola konduktor ( dalamnya berongga ) diberi muatan homogeny, konduktor itu bersifat equipotensial, yaitu potensialnya sama disembarang titik dalam konduktor itu.

Potensial listrik disembarang titik di dalam bola konduktor bermuatan  $q$  yang berjari-jari  $R$  dapat ditentukan dengan rumus

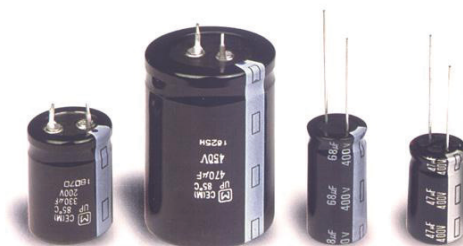
$$V = k \frac{q}{R}$$

Untuk titik diluar konduktor yang berjarak  $r$  dari pusat bola konduktor, potensial listriknya adalah:

$$V = k \frac{q}{r}; r > R$$

## E. KAPASITOR

Apakah kamu mengenal komponen elektronika seperti pada gambar 4.8? Komponen itu bernama kapasitor atau konduktor. Kapasitor merupakan komponen yang berguna menyimpan muatan dan energy listrik.



**Gambar 4.10** berbagai jenis kapasitor dengan berbagai jenis ukuran.

### 1. Kapasitansi kapasitor

Muatan  $q$  yang tersimpan dalam kapasitor sebanding dengan potensial

( $V$ ) pada kedua pelat. Makin besar muatan, makin besar pula potensial listriknya. Perbandingan antara muatan yang tersimpan dalam kapasitor dan potensial listrik antara kedua keeping merupakan bilangan yang tetap yang disebut kapasitansi atau kapasitas ( $C$ ) kapasitor sesuai persamaan:

$$C = \frac{q}{V}$$

Satuan kapasitansi adalah farad ( $F$ ) dengan  $1 F = 1 C/V$ .

### 2. Jenis-Jenis Kapasitor

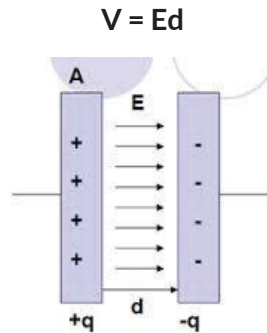
#### a. Jenis Kapasitor Berdasarkan Susunan Pelat

##### 1) Kapasitor pelat sejajar

Kapasitor pelat sejajar tersusun dari dua pelat sejajar yang bermuatan sama besar ( $q$ ) tetapi berlawanan jenisnya. Beda potensial



antara kedua pelat sebanding dengan kuat medan listrik (  $E$  ) dan jarak antara pelat (  $d$  ).



**Gambar 4.11** kapasitor pelat sejajar dengan jarak antar pelat =  $d$

Pada pelat dengan luas  $A$ , kuat medan listriknya  $E = \sigma / \epsilon_0 = q/A\epsilon_0$ , sehingga kapasitas kapasitor ini dapat dinyatakan dengan

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

Jika diantara dua pelat disisipkan bahan dielektrik, kapasitansnya menjadi

$$C = K\epsilon_0 \frac{A}{d}$$

Dengan  $K$  adalah konstanta dielektrik bahan.

## 2) Kapasitor silinder

Kapasitas kapasitor berbentuk silinder dengan jari-jari silinder kecil =  $a$  dan jari-jari silinder besar =  $b$  dapat ditentukan dengan rumus:

$$C = \frac{2\pi k\epsilon_0}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$

**Contoh Soal:**

Sebuah kapasitor berbentuk dari dua pelat aluminium yang luas permukaannya masing-masing  $1 \text{ m}^2$ . Kedua pelat dipisahkan oleh selembur kertas paraffin setebal  $0,1 \text{ mm}$ . jika konstanta dielektrik paraffin adalah 2 dan  $\epsilon_0 = 9 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$ , tentukan kapasitas kapasitor itu!

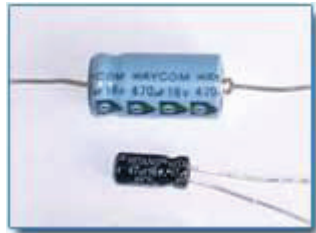
Jawab:

$$C = K\epsilon_0 \frac{A}{d}$$

$$\begin{aligned} &= (2)(9 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2) \frac{1 \text{ m}^2}{10^{-4} \text{ m}} \\ &= 1,8 \times 10^{-7} \text{ C}^2/\text{N.m} = 1,8 \times 10^{-7} \text{ F} \\ &= 0,18 \mu\text{F} \end{aligned}$$

**b. Jenis kapasitor berdasarkan polaritas****1) Kapasitor Polaritas**

Kapasitor ini mempunyai kaki positif dan negatif, sehingga cara pemasangan pada rangkaian elektronika tidak boleh terbalik.



**gambar 4.12**

**2) Kapasitor Nonpolaritas**

Kapasitor ini tidak mempunyai kaki positif dan negatif sehingga cara pemasangan pada rangkaian elektronika boleh bolak-balik. Yang termasuk kapasitor ini adalah kapasitor mika, kapasitor keramik, kapasitor kertas, dan kapasitor milar.

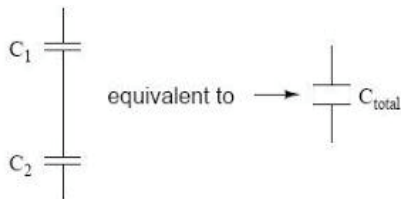


**gambar 4.13**

### **3. Rangkaian Kapasitor**

#### **a). Rangkaian Seri Kapasitor**

Pada penyusunan kapasitor secara seri seperti pada gambar Berikut :

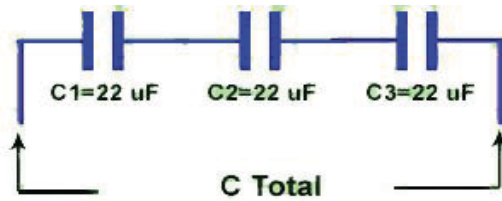


**Gambar 4.14**

Kapasitor di rangkai secara seri kita dapatkan bahwa arus yang melewati kapasitor bernilai tetap sedangkan tegangan yang melewatinya berubah- ubah atau berbeda. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$1/C \text{ Total} = 1/C1 + 1/C2 + \dots 1/Cn$$

**Contoh Soal:**



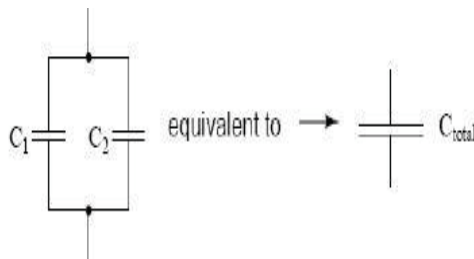
Maka Pada gambar diatas diperoleh kapasitas total dari kondensator tersebut adalah :

- $1/C \text{ Total} = 1/C1 + 1/C2 + 1/C3$
- $1/C \text{ Total} = 1/22 + 1/22 + 1/22$
- $1/C \text{ Total} = 1/22 \quad C \text{ Total} = 22/3$
- $C \text{ Total} = 7,33 \text{ uF}$  (Micro Farad)

**b). Rangkaian Parallel Kapasitor**

Seperti halnya pada **resistor**, kapasitor dapat dirangkai secara seri dan paralel. Alasan untuk merangkai kapasitor secara paralel adalah untuk meningkatkan total jumlah beban penyimpanan.

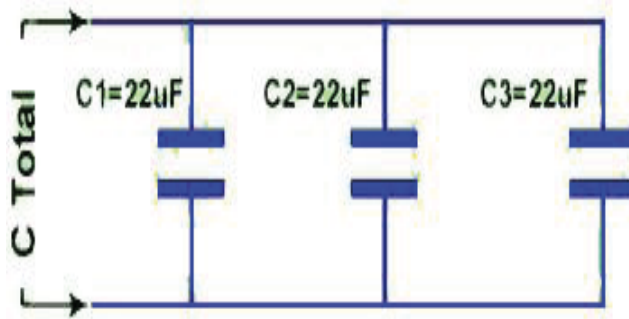
Dengan kata lain, meningkatkan kapasitansi, itu juga meningkatkan jumlah energi yang dapat disimpan. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar berikut ini :



Gambar 4.15

Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :  $C \text{ Total} = C1 + C2 + \dots Cn$

**Contoh Soal: Kapasitor dihubungkan secara paralel**



Rangkaian Pararel Kapasitor

Maka Pada gambar diatas diperoleh kapasitas total dari kondensator tersebut adalah :

- $C\ Total = C1 + C2 + C3$
- $C\ Total = 22 + 22 + 22$
- $C\ Total = 66\ \mu F$  (micro Farad)

## RANGKUMAN

1. Dua muatan listrik sejenis akan saling tolak, sedangkan dua muatan berlawanan jenis akan saling menarik.
2. Gaya tarik menarik maupun gaya tolak menolak antar muatan listrik disebut gaya elektrostatis atau gaya coulomb
3. Besar gaya elektrostatis (F) antara dua muatan ( $q_1$  dan  $q_2$ ) yang terpisah sejauh  $r$  dirumuskan sebagai berikut:  $F = kq_1q_2/r^2$
4. Kuat medan listrik (E) disuatu titik sejauh  $r$  dari muatan  $q$  dirumuskan dengan  $E = kq/r^2$
5. Besar kecilnya medan listrik disuatu titik dapat ditunjukkan oleh rapat renggangnya garis-garis medan listrik

6. Energy potensial listrik yang dimiliki muatan  $q_0$  yang berjarak  $r$  dari muatan sumber  $q$  dapat dirumuskan dengan:  $E_p = kqq_0/r$
7. Potensial listrik (  $V$  ) disuatu titik berjarak  $r$  dari muatan sumber  $q$  dirumuskan dengan:  $V = kq/r$
8. Kapasitansi (  $C$  ) sebuah kapasitor didefinisikan sebagai perbandingan antara besar muatan dan potensial listriknya,  $C = q/V$
9. Pada kapasitor pelat sejajar, beda potensial antara kedua pelat sebanding dengan kuat medan listrik ( $E$ ) dan jarak antarpelat ( $d$ ) sesuai persamaan:  $V = Ed$
10. Rangkaian seri kapasitor dengan kapasitas  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$  dapat diganti oleh sebuah kapasitor dengan kapasitas  $C_p$  sesuai persamaan :  $1/C_p = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \dots + 1/C_n$
11. Rangkaian paralel kapasitor dengan kapasitas  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$  dapat diganti oleh sebuah kapasitor dengan kapasitas  $C_p$  sesuai persamaan:  $C_p = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$

## EVALUASI

1. Diketahui posisi tiga muatan seperti berikut



Jika A menarik C tetapi ditolak B, dan B menarik muatan positif, maka.....

- Muatan A positif
  - Muatan B positif dan A negative
  - Muatan C dan B negative
  - Muatan B negative dan muatan C positif
  - Muatan A negative dan muatan C positif
2. Besar gaya elektrostatik antara dua muatan titik yang terpisah sejauh 2 cm adalah 2 nC. Jika jarak kedua muatan diperkecil menjadi 0,5 cm, besar gaya elektrostatik menjadi....
- 4 nC
  - 8 nC
  - 16 Nc
  - 25 nC
  - 32 nC
3. Pertanyaan tentang garis-garis medan listrik berikut ini yang benar adalah....
- Keluar dari muatan negative
  - Menuju muatan positif
  - Jumlahnya sebanding dengan jarak
  - jumlahnya sama untuk muatan beberapapun
  - Jumlahnya sebanding dengan besar muatan
4. Banyaknya gari-garis medan listrik yang menembus suatu permukaan Dalam arah tegak lurus disebut...
- Energy potensial listrik
  - Fluks medan listrik

- c. Potensial listrik
  - d. Medan listrik
  - e. Gaya listrik
5. Kapasitansi suatu pelat sejajar yang bermuatan adalah...
- a. Berbanding lurus dengan besar muatan
  - b. Berbanding terbalik dengan beda potensial antara kedua pelat
  - c. Makin besar jika jarak antara dua pelat diperbesar
  - d. Makin besar jika luas pelat diperbesar
  - e. Tidak bergantung pada dielektrik
6. Besar usaha untuk memindahkan muatan positif 10 C dari suatu titik yang potensialnya 10 V ke suatu titik yang potensialnya 60 V adalah...
- a. 25 J
  - b. 250 J
  - c. 300 J
  - d. 500 KJ
  - e. 600 kJ
7. Dua partikel masing-masing bermuatan 2  $\mu\text{C}$  dan 3  $\mu\text{C}$  terpisah sejauh 4 cm. besar gaya elektrostatis menjadi...
- a. 11,55 N
  - b. 22,65 N
  - c. **33,75 N**
  - d. 44,85 N
  - e. 55,95 N
8. Hitunglah kuat medan listrik di suatu titik berjarak 4 cm dari sebuah muatan sumber 0,2  $\mu\text{C}$ ...
- a. **112.500 N/C**
  - b. 113.500 N/C
  - c. 114.500 N/C
  - d. 115.500 N/C
  - e. 116.500 N/C
9. Sebuah kapasitor pelatsejajar mempunyai potensial 12 V antara pelat sejajar, dan jarak antara pelat sebesar 3 cm. kuat medan listrik adalah...
- a. 100 N/C
  - b. 200 N/C
  - c. 300 N/C
  - d. **400 N/C**
  - e. 500 N/C



- b. 200 N/C                      e. 500 N/C  
c. 300 N/C
10. Dua kapasitor 4  $\mu\text{F}$  dan 2  $\mu\text{F}$  disusun seri, kemudian diberi tegangan 6 volt. Energy yang tersimpan didalamnya adalah...
- a.  $0,4 \times 10^{-5} \text{ J}$                       d.  $1,5 \times 10^{-5} \text{ J}$   
b.  $0,5 \times 10^{-5} \text{ J}$                       e.  $2,4 \times 10^{-5} \text{ J}$   
c.  $1,4 \times 10^{-5} \text{ J}$

## B. Uraian

*Jawablah dengan tepat!*

- Dua muatan titik masing-masing sebesar 6  $\mu\text{C}$  dan 2  $\mu\text{C}$  berjarak 3 m sama lain. Hitunglah besar gaya elektrostatik yang dialami kedua muatan!
- Berapakah kuat medan listrik dititik P yang berjarak 30 cm dari muatan titik 15  $\mu\text{C}$  ?
- berapakah kuat medan listrik di suatu titik berjarak 4 cm dari sebuah muatan sumber 0,2  $\mu\text{C}$  ?
- hitunglah selisih potensial listrik antara titik A dan titik B yang jaraknya dari muatan +5 nC bberturut-turut adalah  $r_A = 3 \text{ cm}$  dan  $r_B = 6 \text{ cm}$ !
- tiga muatan  $q_1$ ,  $q_2$ , dan  $q_3$  yang masing-masing bermuatan +e, -e, dan +e terletak seperti gambar berikut ini. Tentukan besar gaya coulomb pada muatan  $q_2$ , dengan jarak masing-masing 2 cm.





Kata Kunci

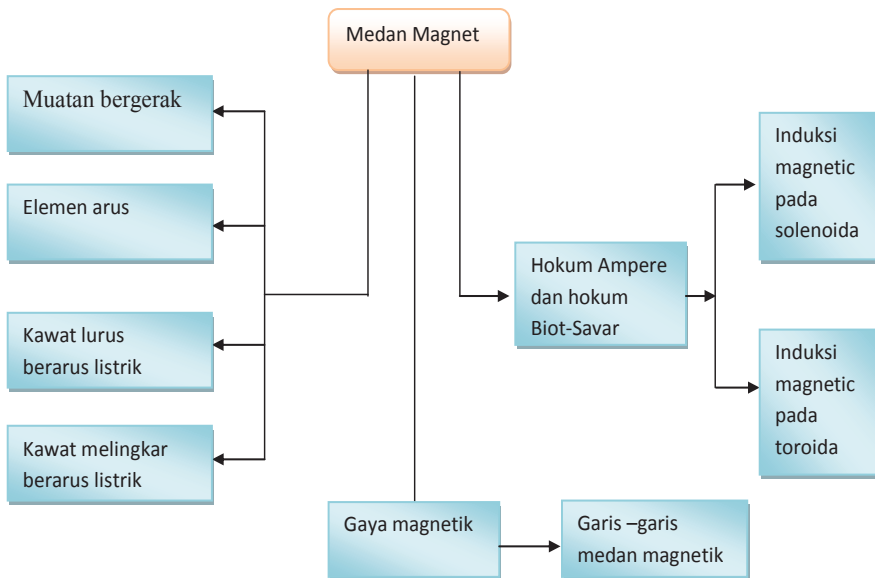
Hukum Ampere

Hukum Biot-Savar

Toroida

Solenoida

PETA KONSEP



# **MEDAN MAGNET**

## **A. Kemagnetan dan Medan Listrik**

### **1. Kemagnetan dan Medan Listrik**

Bukti eksperimennya mengenai hubungan antara medan magnet dan muatan yang bergerak dikemukakan oleh ilmuan Denmark bernama **Hans Christian Oersted** pada tahun 1891. Ia menemukan bahwa jarum kompas akan dibelokkan jika didekatkan pada kawat berarus listrik.

### **2. Medan Magnet di Sekitar Kawat Berarus**

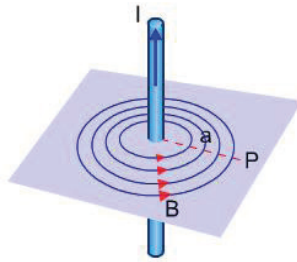
#### **1. Arah induksi Magnet**

Medan Magnet adalah daerah disekitar suatu magnet dimana magnet lain atau benda lain yang mudah dipengaruhi magnet akan mengalami gaya magnet jika dilakukan dalam daerah tersebut.

Induksi magnetik adalah besaran yang menyatakan medan magnet disekitar kawat berarus listrik dengan lambing  $B$ .

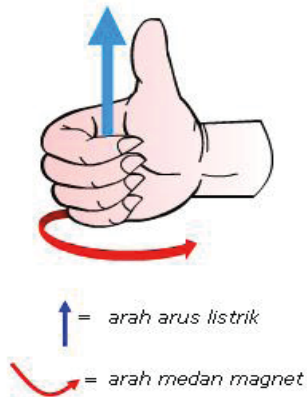
Untuk kawat lurus berarus

Apabila kita menggenggam kawat lurus dengan tangan kanan sedemikian hingga ibu jari menunjukkan arah arus listrik, maka arah putaran keempat jari yang dirapatkan akan menyatakan arah putaran garis-garis gaya magnet.



**Gambar Untuk kawat melingkar**

Arah putaran arus listrik sesuai dengan arah putaran keempat jari yang dirapatkan sedangkan arah ibu jari menunjukkan arah garis-garis gaya magnet.



## 2. Besar Induksi Magnet

Persamaan kuantitatif untuk menentukan besar induksi magnet oleh kawat berarus disebut hukum Biot-Savart yang dirumuskan sebagai berikut.

$$dB = k \frac{i \cdot dl \cdot \sin \alpha}{r^2}$$

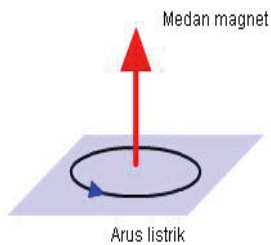
Dengan  $k$  adalah suatu ketetapan ( $\frac{\mu_0}{4\pi}$ ) dan  $\theta$  adalah sudut antara arus listrik dengan elemen  $dl$

**Besar induksi magnet kawat lurus sangat panjang dan berarus**

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi a}$$

Dengan  $a$  adalah jarak titik kebawah kawat

**Besar induksi magnet kawat lingkaran berarus**



Besar induksi magnet di pusat kawat lingkaran berarus adalah

$$B = \frac{\mu_0 i}{2a}$$

Jika kawat lingkaran terdiri dari  $N$  lilitan, maka

$$B = N \frac{\mu_0 i}{2a}$$

$$\frac{\mu_0 i}{2a}$$

Dengan:

$B$  = Medan magnet dalam **tesla (T)**

$\mu_0$  = permeabilitas ruang hampa =  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Wb/amp. M}$

$i$  = Kuat arus listrik dalam **ampere (A)**

$a$  = jarak titik  $P$  dari kawat dalam **meter (m)**

### Contoh soal

Sebuah kawat lurus panjang dialiri arus 5 miliampere berada di ruang hampa. Tentukan besarnya induksi magnetik pada titik yang berada sejauh 10 cm disebelah kanan kawat, bila kawat vertikal?

Diketahui :  $I = 5 \text{ miliampere} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Ampere}$

$a = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ meter}$

Ditanya :  $B = \dots\dots\dots?$

Jawab

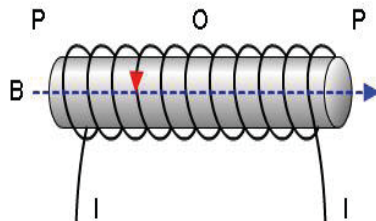
:

$$\begin{aligned} B &= \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot a} \\ &= \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{2\pi \cdot 0,1} \\ &= 10^{-10} \text{ Tesla} \end{aligned}$$

## B . Hukum Ampere

### *Besar Induksi magnet solenoida*

Solenoid sering disebut sebagai kumparan adalah seutas kawat panjang yang dililitkan mengitari sebuah penampang berbentuk silinder.



$$B_p = N \frac{\mu_0 N i}{L}$$

$B_p$  = medan magnet pada pusat solenoida dalam tesla ( T )

$\mu_0$  = permeabilitas ruang hampa =  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Wb/amp. M

$i$  = kuat arus listrik dalam ampere ( A )

$N$  = jumlah lilitan dalam solenoida

$L$  = panjang solenoida dalam meter ( m )

*Contoh Soal:*

Suatu solenoid yang cukup panjang memiliki panjang 25 cm, jari-jari 2cm, dan terdiri atas 50 lilitan. Apabila solenoid dialiri arus 3 A, tentukan induksi magnetic dipusat dan diujung solenoid

Penyelesaian

Diket:  $L = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$

$a = 2 \text{ cm} = 2 \times 10^{-2} \text{ m}$

$N = 50$  lilitan

$i = 3 \text{ A}$

*Jawab :* induksi magnetic dipusat solenoid

$$B = \frac{\mu_0 N i}{L} = \frac{(4 \pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \frac{\text{m}}{\text{A}})(3\text{A})(50)}{0,25 \text{ m}} = 24 \pi \times 10^{-5} \text{ T}$$

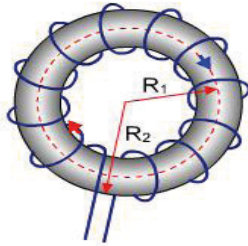
Induksi magnetic diujung solenoid

$$B = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 N i}{L} = \frac{1}{2} (24 \pi \times 10^{-5} \text{ T})$$

$$= 12 \pi \times 10^{-5} \text{ T}$$



### Besar induksi magnet disumbu toroida



Besarnya medan magnet ditengah-tengah Toroida ( pada titik-titik yang berada pada garis lingkaran merah ) dapat dihitung.

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2 \pi a}$$

$B_0$  = Medan magnet dititik ditengah-tengah Toroida dalam **tesla (T)**

$N$  = jumlah lilitan pada Solenoida dalam **lilitan**

$I$  = kuat arus listrik dalam **ampere (A)**

$a$  = rata-rata jari2 dalam dan jari-jari luar toroida dengan satuan **meter (m)**

$$a = \frac{1}{2} ( R_1 + R_2 )$$

### C. Gaya Lorentz

#### 1. Gaya Lorentz Pada Penghantar Berarus

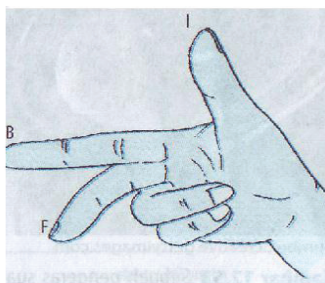
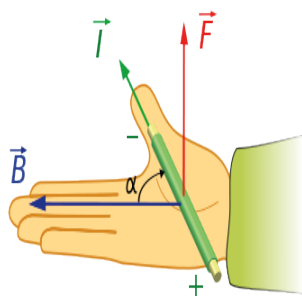
Gaya Lorentz merupakan gaya yang terjadi akibat interaksi antara medan magnetik dengan arus listrik atau muatan listrik yang bergerak.

Besar gaya Lorentz yang dialami oleh penghantar berbanding lurus dengan kuat arus listrik, panjang penghantar didalam magnetik, induksi magnetik, dan sinus sudut antara arah arus dan arah induksi magnetik. secara matematika dapat ditulis bahwa besar gaya Lorentz adalah

Dengan  $L$  adalah panjang penghantar dan  $\theta$  adalah sinus sudut antara arah arus  $i$  dan arah induksi magnetik  $B$ .

Arah gaya Lorentz dapat ditentukan dengan kaidah telapak tangan kanan yang berbunyi sebagai berikut:

Apabila tangan kanan dibuka dengan ibu jari menunjuk arah arus  $I$  dan keempat jari lain yang dirapatkan menunjuk arah induksi magnet  $B$ , maka arah telapak tangan menekan menunjukkan arah gaya Lorentz  $F$ .



Gambar . Arah  $i$ ,  $F$ , dan  $B$  pada kaidah tangan kanan

#### Contoh Soal:

Sebuah kawat berarus listrik  $I = 2 \text{ A}$  membentang horizontal dengan arah arus dari utara ke selatan, berada dalam medan magnet homogen  $B = 10^{-4} \text{ T}$  dengan arah vertikal ke atas. Bila panjang kawatnya 5 meter dan arah arus tegak lurus arah medan magnet. Berapa besar dan arah gaya Lorentz yang dialami oleh kawat ? ...

#### Penyelesaiannya

Diket :  $I = 2 \text{ A}$

$B = 10^{-4} \text{ T}$

$\ell = 5 \text{ m}$

Ditanya :  $F = \dots\dots\dots ?$

Dijawab :

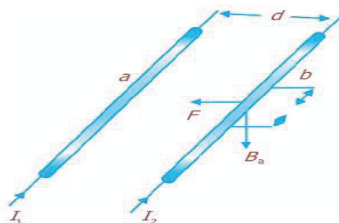
$$F = I \cdot \ell \cdot B \cdot \sin \theta$$

$$= 2 \text{ ampere} \cdot 5 \text{ meter} \cdot 10^{-4} \text{ Tesla} \cdot \sin 90^\circ$$

$$= 10^{-3} \text{ newton}$$

## Gaya Lorentz antara dua kawat lurus panjang sejajar dan berarus

Dua kawat panjang sejajar berarus akan tarik menarik jika dialiri arus yang searah, dan tolak menolak jika dialiri arus yang berlawanan arah. Gaya tarik menarik atau gaya tolak menolak diantara dua kawat lurus sejajar yang dialiri arus  $I_1$  dan  $I_2$  memenuhi persamaan:



$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} L$$

Dan menghasilkan induksi magnetik yang besarnya

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi a}$$

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi a}$$

## 2. Gaya Lorentz pada partikel bermuatan listrik

Arus listrik dalam kawat yang dihasilkan oleh partikel bermuatan (electron-elektron) yang bergerak. Dengan demikian, partikel bermuatan yang memasuki daerah medan magnet pun akan mengalami gaya Lorentz. Besar gaya yang dialami partikel bermuatan yang bergerak memasuki medan magnet dirumuskan oleh

$$F = qvB \sin \theta$$

Dengan

$q$  = muatan listrik (C)

$v$  = kecepatan partikel (m/s)

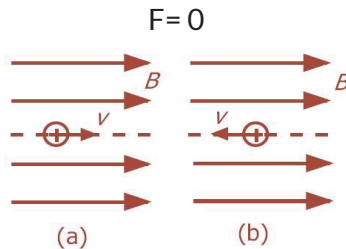
$B$  = besar induksi magnet (Wb/m<sup>2</sup>)

$\theta$  = sudut antara arah  $v$  dan  $B$

## Lintasan yang ditempuh oleh partikel bermuatan dalam medan magnet

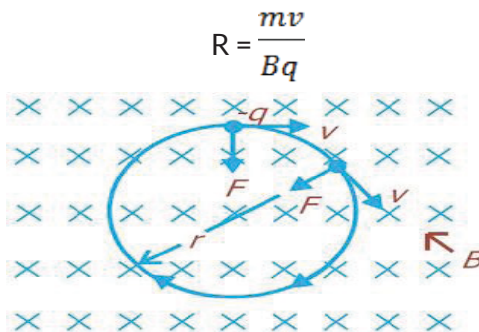
Lintasan yang ditempuh oleh partikel bermuatan dalam medan magnet bergantung pada sudut yang dibentuk oleh arah kecepatan dengan arah medan magnet.

1. Lintasan partikel yang bergerak sejajar dengan garis medan magnetik (garis lurus /tidak dibelokkan). Lintasan berupa garis lurus terbentuk jika kecepatan partikel bermuatan sejajar baik searah maupun berlawanan arah dengan medan magnetik. Hal ini disebabkan tidak ada gaya Lorentz yang terjadi, sehingga gerak partikel tidak dipengaruhi oleh gaya Lorentz. Lintasan gerak terlihat seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar. a) searah dan b) berlawanan arah.

2. Lintasan partikel yang bergerak tegak lurus garis medan magnetik (lingkaran). Jika arah kecepatan partikel tegak lurus terhadap medan magnetik. Jari-jari lingkaran  $R$  dinyatakan oleh:



Gambar .Lintasan melingkar yang dipengaruhi oleh  $-q$

Contoh soal:

Suatu muatan bermassa  $9,2 \times 10^{-38}$  kg bergerak memotong secara tegak lurus medan magnetic 2 tesla. Jika muatan sebesar  $3,2 \times 10^{-9}$  C dan jari-jari lintasannya 2 cm, Tentukan kecepatan muatan tersebut!

Penyelesaiannya

Diket:  $m = 9,2 \times 10^{-38}$

$B = 2$  T

$q = 3,2 \times 10^{-9}$

$R = 2 \text{ cm} = 2 \times 10^{-2} \text{ m}$

Jawab :

Besarnya kecepatan adalah:

$$R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$$

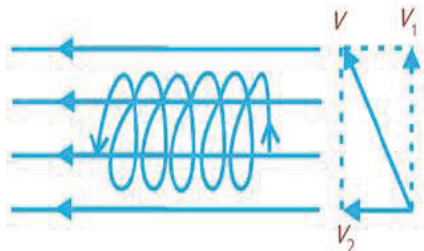
$$v = \frac{RqB}{m}$$

$$= \frac{(2 \times 10^{-2}) (3,2 \times 10^{-9}) (2)}{9,2 \times 10^{-28}}$$

$$= \frac{12,8 \times 10^{-11}}{9,2 \times 10^{-28}} = 1,39 \times 10^{17} \text{ m/s}$$

### 3. Lintasan partikel yang bergerak dengan arah tertentu terhadap garis medan magnetic (spiral)

Jika arah kecepatan tidak sejajar dan tidak tegak lurus terhadap medan magnet. Sumbu putar spiral sejajar dengan arah medan magnet  $B$  dan arah gerak maju spiral sesuai dengan komponen kecepatan yang sejajar dengan  $B$ .



## D. Aplikasi Gaya Lorentz

### 1. Galvanometer

Galvanometer merupakan sebuah peralatan yang menggunakan medan magnet untuk mendeteksi besarnya arus yang mengalir. Dalam mengukur kuat arus listrik, galvanometer bekerja berdasarkan prinsip bahwa sebuah kumparan yang dialiri arus listrik dapat berputar ketika diletakkan dalam suatu daerah medan magnet

## RANGKUMAN

1. Medan magnet adalah ruang disekitar magnet yang masih mengalami gaya magnetik .Medan magnet juga sering diartikan sama dengan induksi magnet.
2. Oersted menunjukkan lewat pecobaaaannya bahwa disekitar arus listrik terdapat medan magnetik.
3. Besarnya kuat medan magnetik,  $\mu B$  disuatu titik yang berjarak  $r$  dari suatu elemen kawat penghantar yang panjangnya  $dl$  dan dialiri arus  $i$  adalah:

$$\mu B = k \frac{i \cdot dl \cdot \sin \alpha}{r^2}$$

4. Besarnya gaya Lorentz yang dialami penghantar dengan panjang  $l$  yang dialiri arus listrik  $I$  dalam medan magnetic homogen  $B$  memenuhi persamaan

$$F = I \cdot l \cdot B \cdot \sin \theta$$

5. Gaya Lorentz yang dialami muatan listrik  $q$  yang bergerak dengan kecepatan  $v$  dalam medan induksi magnetik  $B$  adalah

$$F = qvB \sin \theta$$

6. Gaya tarik menarik atau gaya tolak-menolak diantara dua kawat lurus sejajar yang dialiri arus  $I_1$  dan  $I_2$  memenuhi persamaan

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} L$$

7. Jari -jari sebuah partikel yang bergerak didalam medan magnetik sebanding dengan momentum partikel,serta berbanding terbalik dengan besarnya muatan listrik, dan berbanding terbalik dengan induksi magnetik yang mempengaruhinya

$$R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$$

8. Aplikasi gaya Lorentz dapat dijumpai pada peralatan fisika seperti galvanometer.

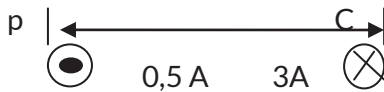
## EVALUASI

1. Gejala kemagnetan disekitar kawat berarus pertama kali dikemukakan oleh
  - a. Ampere
  - b. Faraday
  - c. Oersted
  - d. Lentz
  - e. Biot-Savart
2. Penyebab medan magnet
  1. Muatan listrik
  2. Magnet permanen
  3. Arus listrik
  4. Kumparan berarus

Yang benar adalah.....

- a. 1 dan 2
  - b. 1 dan 3
  - c. 2 dan 3
  - d. 1,2 dan 3
  - e. 2,3 dan 4
3. Jari-jari lintasan gerakan proton didalam siklotron adalah 120 m. Jika energy proton 1,6 joule, maka besarnya medan magnet yang diperlukan adalah....
- a. 0,02 T      d. 1,60 T
  - b. 0,28 T      e. 2,50 T
  - c. 1,20 T
4. Kawat sepanjang  $4,5 \pi$  meter (hambatan totalnya 10 ohm) dililit menjadi kumparan berdiameter 0,30 meter. Ujung-ujung kumparan dihubungkan kesumber 12 volt. Dari data tersebut dapat dihitung kuat induksi magnet dipusat kumparan sebesar...
- a.  $80 \mu_0 \text{ wb/m}^2$
  - b.  $6\pi \mu_0 \text{ wb/m}^2$
  - c.  $0,6 \frac{\mu_0}{\pi} \text{ wb/m}^2$
  - d.  $12 \mu_0 \text{ wb/m}^2$
  - e.  $1,2 \frac{\mu_0}{\pi} \text{ wb/m}^2$
5. Dua kawat lurus panjang P dan Q berjarak 20 cm satu sama lain, memiliki arus masing-masing 0,5 A dan 3 A dengan arah seperti dalam gambar dibawah ini. Tempat yang kuat medannya nol adalah...

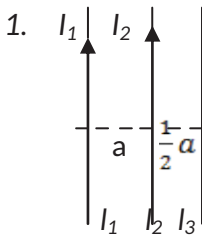




- a. Tepat ditengah diantara kedua kawat
  - b. Disebelah kanan kawat P sejauh 4 cm
  - c. Disebelah kiri kawat P sejauh 4 cm
  - d. Disebelah kanan kawat Q sejauh 6 cm
  - e. Disebelah kiri kawat Q sejauh 6 cm
6. Suatu kumparan yang berdiameter 40 cm dialiri arus 2,5 A. Ternyata kuat medan magnet dipusat sebesar  $1,26 \times 10^{-4} \text{ T}$ . Jumlah lilitan kumpalan ini sebanyak.....
    - a. 8
    - b. 12
    - c. 16
    - d. 20
    - e. 25
  7. Soleinoda panjangnya 5 cm dengan 200 lilitan diberi inti besi lunak yang permeabilitas relatifnya 150, kemudian dialiri arus 0,5 A. Induksi magnet didalam soleinoda adalah....Tesla
    - a.  $1,2 \pi$
    - b.  $0,12 \pi$
    - c.  $0,08 \pi$
    - d.  $0,008 \pi$
    - e.  $0,90 \pi$
  8. Pernyataan berikut yang benar adalah....
    - a. Pada bahan paramagnet, lingkaran arus memperkuat medan magnet
    - b. Pada bahan paramagnet, lingkaran arus tak berpengaruh
    - c. Pada bahan diamagnet, lingkaran arus sedikit memperkuat medan magnet
    - d. Pada bahan diamagnet, lingkaran arus searah medan magnet luar

- e. Pada bahan ferromagnet, lingkaran arus saling tegak lurus
9. Arah gaya magnet yang dialami kawat penghantar adalah....
- Ke sumbu y positif
  - Ke sumbu y negative
  - Keluar bidang gambar
  - Ke dalam bidang gambar
  - Ke sumbu x positif
10. Dua kawat sejajar masing-masing panjangnya 1 meter terpisah sejauh 1 meter dan masing-masing berarus listrik 1 ampere. Gaya magnet pada salah satu kawat besarnya....
- 2,0 N
  - $6 \times 10^{-2}$  N
  - $2 \times 10^{-6}$  N
  - $7 \times 10^{-2}$  N
  - $2 \times 10^{-7}$  N

## Essay

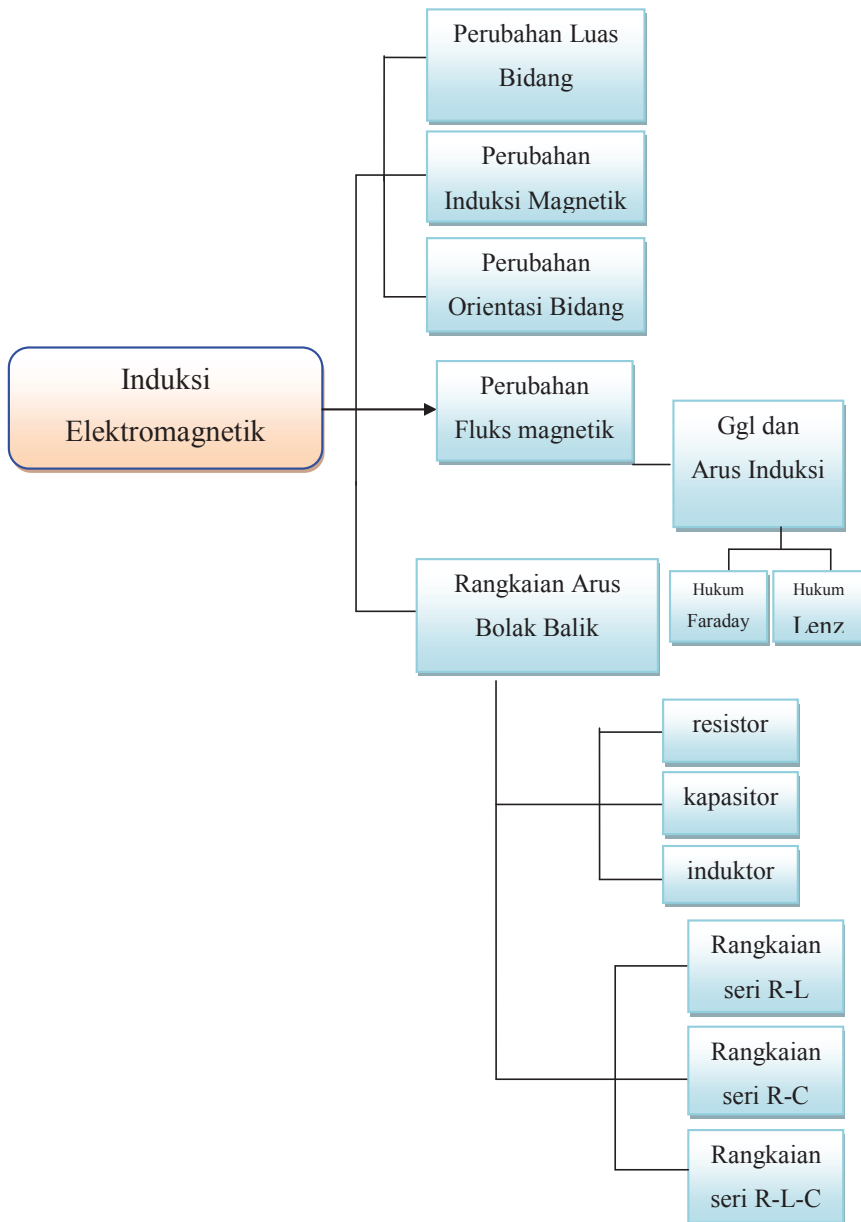


Perhatikan gambar diatas .Kuat arus  $I_1=10$  A,  $I_2 = 6$  A. Agar gaya total pada kawat  $I_1$  sama dengan nol, maka besar dan arah pada kawat  $I_2$  adalah....

- 3 ampere, searah dengan  $I_2$
- 3 ampere, berlawanan dengan  $I_2$
- 5 ampere, searah dengan  $I_2$
- 5 ampere, berlawanan dengan  $I_2$
- 10 ampere, searah dengan  $I_2$

2. Sebuah electron ( $m = 9 \times 10^{-31}$  kg, muatan =  $1,6 \times 10^{-19}$  C) bergerak dengan kecepatan  $10^6$  m/s masuk kedalam medan magnet. Jika lintasannya berupa lingkaran dengan diameter 0,2 m, besarnya kuat medan magnet adalah...
- $1,8 \times 10^{-4}$  T
  - $3,5 \times 10^{-4}$  T
  - $5,6 \times 10^{-5}$  T
  - $8,0 \times 10^{-5}$  T
  - $2,5 \times 10^{-6}$  T
3. Besar gaya yang dialami partikel bermuatan yang bergerak dalam medan magnet bergantung pada hal berikut, kecuali.....
- Massa partikel
  - Arah gerak partikel
  - Besar kecepatan gerak partikel
  - Besar muatan partikel
  - Besar medan magnet
4. Suatu proton bergerak dalam medan magnet 0,1 T membentuk lintasan melingkar dengan radius 5,0 cm. Muatan proton  $1,6 \times 10^{-19}$  C dan massanya  $1,67 \times 10^{-27}$  kg energy kinetiknya.....
- $1,9 \times 10^{-16}$  J
  - $2,2 \times 10^{-16}$  J
  - $2,9 \times 10^{-16}$  J
  - $3,5 \times 10^{-16}$  J
  - $4,0 \times 10^{-16}$  J
5. Bila muatan positif bergerak dari selatan ke utara dalam medan magnet yang berarah timur ke barat, maka muatan akan.....

## PETA KONSEP





# **INDUKSI DAN ELEKTROMAGNETIK**

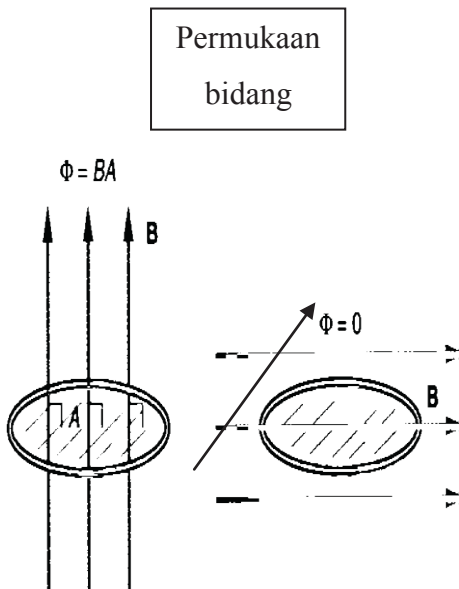
Pada tahun 1831, seorang ilmuwan Inggris bernama Michael Faraday dan seorang ilmuwan Amerika Joseph Henry, berhasil membuktikan bahwa perubahan medan magnetic dapat menghasilkan arus energy. Gejala timbulnya arus listrik pada suatu penghantar karenapengaruh medan magnetic yang berubah disebut induksi elektromagnetik. Beda potensial pada penghantar akibat perubahan medan magnetic disebut gaya gerak listrik (ggl) induksi dan arus listrik yang ditimbulkannya disebut arus listrik induksi.

## **A. Gaya Gerak Listrik Induksi**

Untuk membahas gaya gerak listrik induksi, yaitu gaya gerak listrik yang timbul pada ujung suatu penghantarakibat induksi elektromagnetik, terlebih dahulu kita perlu memahami tentang fluks magnetic, hukum Faraday dan hokum Lenz.

### **1. Fluks Magnetik**

Medan magnetik dapat digambarkan sebagai garis-garis khayal yang disebut garis medan atau garis gaya, dimana semakin rapat garis-garis medan menunjukkan medan magnetic yang semakin kuat. Ukuran kerapatan garis-garis medan dinyatakan dengan induksi magnetik  $B$ .



Gambar 1.1 garis medan magnetik yang menembus permukaan bidang.

Perhatikan gambar 1.1 yang menunjukkan garis-garis medan magnetik yang menembus permukaan bidang. Fluks magnetik  $\Phi$  didefinisikan sebagai banyaknya garis-garis medan magnetik  $B$  yang menembus permukaan bidang seluas  $A$  secara tegak lurus. Pernyataan ini secara matematis, fluks magnetik dinyatakan sebagai hasil kali antara kompoen induksi magnetik yang tegak lurus bidang  $B_1$  dan luas bidang  $A$ , dapat ditulis sebagai:

$$\Phi_B = BA = (B \cos \theta) A$$

$$\Phi_B = BA \cos \theta$$

Dengan:

$\Phi$  = Fluk magnetic (Wb = weber)

$B$  = induksi magnetik (T atau Wb/m<sup>2</sup>)

$A$  = luas permukaan bidang (m<sup>2</sup>)

$\theta$  = sudut antara  $B$  dengan normal bidang (radian atau derajat)

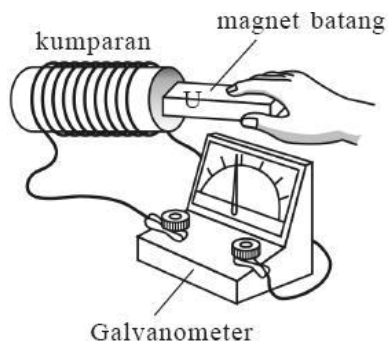
## 2. Hukum Faraday



### FARADAY (1791-1867)

Michael Faraday sering disebut sebagai ilmuwan eksperimental terbesar abad ke-18. Berbagai kontribusinya dibidang kelistrikan termasuk penemuan motor listrik, generator listrik, dan transformator juga penemuan induksi elektromagnetik dan hukum-hukum elektrolisis.

Michael Faraday adalah seorang ilmuwan berkebangsaan Jerman telah melakukan percobaan untuk menyelidiki hubungan antara gaya gerak listrik (ggl) induksi yang timbul antara ujung-ujung suatu loop penghantar dengan laju fluks magnetik seperti ditunjukkan pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2 percobaan Faraday untuk menyelidiki hubungan ggl induksi dengan kelajuan perubahan fluks magnetik.**

Percobaan selanjutnya disebut hukum Faraday yang menyatakan bahwa:

*GGL induksi yang timbul antara ujung-ujung loop suatu penghantar berbanding lurus dengan laju perubahan fluks magnetik yang dilingkupi oleh loop penghantar tersebut.*

Pernyataan tersebut dapat dituliskan dengan persamaan :

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$



Apabila perubahan fluks terjadi dalam waktu yang singkat ( $\Delta t \rightarrow 0$ ), maka:

$$\varepsilon = -N \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

Dengan:

$\varepsilon$  = ggl induksi (V)

$N$  = Jumlah lilitan kumparan

$\Delta \Phi$  = perubahan fluks magnetik (Wb)

$\Delta t$  = interval waktu (s)

$\frac{d\Phi}{dt}$  = turunan pertama fungsi fluks magnetik terhadap waktu (Wb/s)

### 1) Ggl induksi akibat berbagai factor perubaha fluks

Jika kita amati dari persamaan fluks magnetik  $\Phi_B = BA \cos \theta$ , maka perubaha fluks magnetik dapat disebabkan oleh tiga factor, yaitu:

- Perubaha induksi magnetik ( $\Delta B$ )
- Perubahan luas bidang kumparan ( $\Delta A$ )
- Perubahan orientasi bidang kumparan terhadap arah medan magnet ( $\Delta \theta$ )

Mengingat bahwa ggl induksi timbul akibat adanya perubahan fluks magnetik, maka ketiga factor diatas meyebabkan adanya ggl induksi.

### 2) Perubaha iduksi magnetik ( $\Delta B$ )

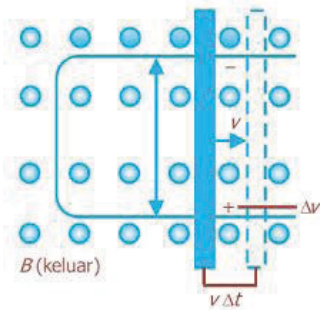
$$\varepsilon = -NA \cos \theta \frac{(B_2 - B_1)}{t_2 - t_1}$$

Untuk kasus medan magnet tegak lurus bidang kumparan,  $\theta = 0^\circ$ -  
 $\cos 0 = 1$ , sehingga:

$$\mathcal{E} = -NA \frac{(B2-B1)}{t2-t1)}$$

dengan B1=induksi magnet awal dan B2= induksi magnet akhir.

### 3) Perubahan luas bidang kumparan ( $\Delta A$ )



Gambar 3.3. perubahan luas bidang kumparan akibat perpindahan kawat ab. Kawat ab digerakkan kekanan dengan kecepatan  $v$  sehingga terjadi perubahan luas permukaan waktu

sebesar  $\frac{dA}{dt} = \frac{d(lx)}{dt} = l \frac{dx}{dt} = lv$

$$\mathcal{E} = -NB \cos \theta \frac{(B2-B1)}{t2-t1)}$$

Untuk kasus medan magnet tegak lurus bidang kumparan,  $\theta = 0^\circ$ -  
 $\cos 0 = 1$ , sehingga:

$$\mathcal{E} = -NB \frac{(B2-B1)}{t2-t1)}$$

### 4). Perubahan orientasi bidang kumparan terhadap arah medan magnet ( $\Delta \theta$ )

Persamaan ggl induksi yang timbul akibat perubahan orientasi (sudut) antara induksi magnetik B dan arah normal bidang kumparan (koil) adalah

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi B}{dt} = -N \frac{d}{dt} (BA \cos \theta)$$

Karena A dan B konstan, maka keduanya dapat dikeluarkan dari tanda diferensial, sehingga menjadi:

$$\mathcal{E} = -NBA \frac{d\cos\theta}{dt}$$

Untuk kasus laju perubahan  $\cos\theta$  tetap, persamaan menjadi:

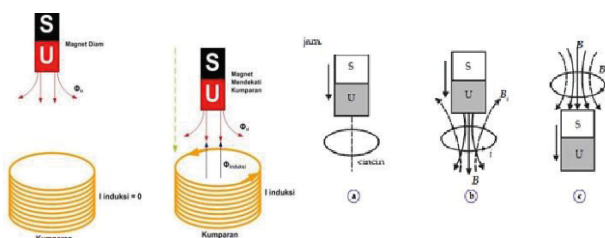
$$\mathcal{E} = -NBA \frac{(\cos\theta_2 - \cos\theta_1)}{(t_2 - t_1)}$$

### 3. Hukum Lenz

Hukum Lenz memberikan ketentuan tentang arah arus induksi yang mengalir dalam suatu rangkaian tertutup yang dihubungkan dengan ggl induksi selama perubahan fluks terjadi. Bunyi hukum Lenz adalah sebagai berikut:

*Arah arus induksi akibat ggl induksi pada suatu rangkaian adalah sedemikian rupa sehingga menimbulkan medan magnetik induksi yang menentang perubahan medan magnetik (arus induksi berusaha mempertahankan agar fluks magnetik total adalah konstan).*

Untuk memahami hakikat hukum Lenz, perhatikanlah gambar 4.1



Gambar 4.2 arah arus induksi berdasarkan hukum Lenz

### Contoh Soal:

Sebuah kumparan yang terdiri atas 50 lilitan dan memiliki hambatan 5 ohm, berada dalam medan magnetik yang arahnya sejajar dengan sumbu kumparan. Fluks magnetik yang memasuki kumparan berubah terhadap waktu sesuai dengan persamaan  $\phi = 10^{-4} \sin(3 \times 10^3 t)$ . tentukanlah:

Ggl maksimum antara ujung-ujung kumparan  
Kuat arus maksimum yang melalui kumparan

### Penyelesaian:

Dik:  $N = 50$  lilitan

$$R = 5 \Omega$$

$$\phi = 10^{-4} \sin(3 \times 10^3 t) \text{ weber}$$

Ggl antara ujung-ujung kumparan

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt} = -(50) \frac{d}{dt} [10^{-4} \sin(3 \times 10^3 t)]$$

$$= -50 [3 \times 10^3 (10^{-4}) \cos(3 \times 10^3 t)]$$

$$= -15 \cos(3 \times 10^3 t) \text{ V}$$

$$= \varepsilon_m \cos \omega t$$

$$= \varepsilon_m \cos \omega t$$

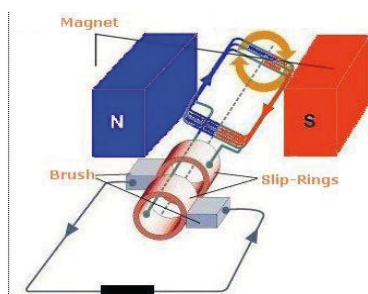
$$\text{Jadi, } \varepsilon_m = 15 \text{ V}$$

b. Kuat arus maksimum yang melalui kumparan

$$I_m = \frac{\varepsilon_m}{R} = \frac{15}{5} = 3 \text{ A}$$

$$\text{Jadi, } \varepsilon_m = 15 \text{ V}$$

## B. Aplikasi Induksi Elektromagnetik



Gambar 5.1. diagram alternator sederhana

Induksi elektromagnetik dapat ditimbulkan secara terus menerus dengan cara memutar sebuah kumpara didalam medan magnetik. Gambar 5.1 memperlihatkan rangkaian sederhana dari sebuah alternator, yaitu alat yang mampu membangkitkan ggl induksi. Sebuah simpla berbentuk segi empat siku-siku dengan luas  $A$  berotasi dengan kecepatan sudut konstan  $\omega$  terhadap sumbu putar yang melalui pusat simpla.

Fluks magnetik  $\Phi_B$  yang melalui simpla sama dengan luas  $A$  dikalikan dengan  $B = B \cos \theta$ .

$$\text{Jadi } \Phi_B = BA \cos \theta = BA \cos \omega t$$

Berdasarkan hukum Faraday, ggl induksi yang timbul

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = BA \omega \sin \omega t$$

Jika simpla terdiri atas  $N$  lilitan, maka

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = NBA \omega \sin \omega t$$

Atau

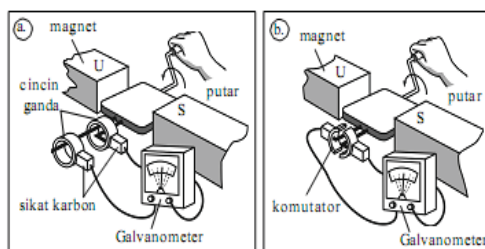
$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{maks}} \sin \omega t,$$

Dengan

$$\mathcal{E}_{\text{maks}} = NBA\omega$$

## 1. Generator Listrik

Generator listrik adalah mesin yang dapat mengubah energy kinetic menjadi energy listrik. Mesin ini bekerja berdasarkan gejala induksi elektromagnetik yang ditemukan oleh Faraday. Berdasarkan arus listrik yang dihasilkan, generator dibedakan menjadi dua, yaitu generator arus bolak balik dan generator arus searah. Perbedaan antara keduanya adalah terletak pada bentuk dan jumlah cincin luncur, pada generator arus bolak balik terdapat dua cincin luncur, sedangkan pada generator searah hanya terdapat satu cincin luncur.



Gambar 12.3 a. Bagan dinamo AC, b. Bagan dinamo DC

Ggl induksi yang dihasilkan berbentuk gelombang sinusoida yang besarnya dapat dinyatakan sebagai:

$$\varepsilon = -NAB\omega \sin \omega t = \varepsilon_m \sin \omega t$$

Dengan:

$\varepsilon$  = ggl induksi (V)

N = Jumlah lilitan kumparan

A = luas bidang kumparan ( $\text{m}^2$ )

B = medan magnetik (T)

$\omega$  = Kecepatan sudut kumparan (rad/s)

T = waktu (s)

Berdasarkan persamaan diatas, diperoleh bahwa untuk memperbesar ggl induksi maksimum atau untuk menghasilkan arus listrik induksi yang besar dapat dilakukan dengan cara:

- menggunakan kumparan yang terdiri dari banyak lilitan
- menggunakan magnet yang lebih kuat

- c) menggunakan inti besi lunak pada kumparan, dan
- d) memutar kumparan lebih cepat

## 2. Transformator

Transformator dapat disebut juga trafo yaitu alat yang dapat digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan listrik arus bolak balik. Transformator yang dapat menaikkan tegangan disebut trafo step-up dan trafo yang dapat menurunkan tegangan disebut trafo step-down.

Transformator terdiri dari kumparan primer, sekunder dan inti besi lunak tempat kumparan dililitkan. Kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan dan kumparan sekunder dihubungkan dengan peralatan listrik. Inti besi trafo dibuat dari pelat yang berlapis-lapis untuk mengurangi daya hilang karena arus pusat.

### a) Prinsip Kerja Transformator

Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Fluks magnetik setiap saat yang dikurung kumparan sekunder besarnya sama. Bila jumlah lilitan kumparan sekunder  $N_s$  lebih besar daripada jumlah lilitan kumparan primer  $N_p$ , maka tegangan sekunder  $V_s$  lebih besar daripada tegangan primer  $V_p$ . Sehingga persamaan transformator akan berlaku hubungan

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$\mu = \frac{P_s}{P_p} = \frac{V_s I_s}{V_p I_p}$$

### b) Perbandingan Arus pada Transformator

Mengingat bahwa daya sekunder  $P_s = V_s I_s$  dan daya primer  $P_p = V_p I_p$ , maka perbandingan arus pada trafo dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{I_s}{I_p} = \mu \frac{N_p}{N_s}$$

Dimana

$I_s$  = kuat arus pada kumparan sekunder (A)

$I_p$  = kuat arus pada kumparan primer (A)

$\mu$  = efisiensi transformator

$N_p$  = jumlah lilitan primer

$N_s$  = jumlah lilitan sekunder

Khusus untuk transformator ideal ( $\mu = 100\%$ ), berlaku  $\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s}$

### Contoh Soal:

Kumparan generator arus bolak-balik mempunyai 250 lilitan, dengan luas penampang  $3 \text{ cm}^2$ . Jika kumparan itu berputar dalam medan magnetik  $0,4 \text{ T}$  pada frekuensi  $60 \text{ Hz}$ , berapakah ggl induksi maksimum  $\varepsilon_{\text{maks}}$  yang dihasilkan?

### Penyelesaian:

$$\varepsilon_{\text{maks}} = NBA \omega = NBA (2\pi f)$$

$$= (250)(0,4 \text{ T})(3 \times 10^{-4} \text{ m}^2)(2\pi)(60 \text{ Hz}) = 11,3 \text{ V}$$

## C. Induktansi dan Energi dalam suatu Induktor

Joseph Henry telah melakukan penyelidikan tentang ggl induksi akibat perubahan fluks magnetik yang ditimbulkan oleh suatu kumparan. Akhirnya diperoleh kesimpulan bahwa besarnya ggl induksi sebanding dengan laju perubahan arus terhadap waktu.

Secara matematika, pernyataan ini dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt}$$

Henry mendefinisikan induktansi diri induktor  $L$  sebagai konstanta perbandingan antara  $\varepsilon$  dan  $\frac{dI}{dt}$  sehingga diperoleh

$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt} \text{ atau } L = -\frac{\varepsilon}{\frac{dI}{dt}}$$



Suatu induktor (kumparan) memiliki induktansi diri sebesar 1 henry apabila perubahan arus listrik 1 A dalam 1s pada kumparan tersebut menimbulkan ggl induksi diri sebesar 1 V.

## 1. Induktansi Diri Selenoida dan Toroida

Ggl induksi yang terjadi pada sebuah kumparan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt} \text{ dan } \varepsilon = -L \frac{dI}{dt}$$

Dengan menyamakan kedua persamaan tersebut diperoleh:

$$L \frac{dI}{dt} = N \frac{d\Phi}{dt}$$

$$L \int_0^1 dI = N \int_0^{\Phi} d\Phi$$

$$LI = N\Phi$$

$$L = \frac{N\Phi}{I}$$

Mengingat induksi magnetik dipusat solenoida dan toroida adalah  $B = \frac{\mu_0 IN}{l}$  dan fluks magnetik  $\Phi = AB$ . Maka dapat ditulis menjadi:

$$B = \frac{NAB}{l} = \frac{NA}{l} \left( \frac{\mu_0 IN}{l} \right)$$

$$L = \frac{\mu_0 I A N^2}{l}$$

Dengan:

$L$  = induktansi diri solenoida atau toroida (H)

$\mu_0$  = permeabilitas vakum ( $4\pi \times 10^{-7}$  wb/A m)

$N$  = jumlah lilitan

$l$  = panjang solenoida atau toroida (m)

Apabila penampang solenoida atau toroida diisi bahan tertentu yang memiliki permeabilitas relatif  $\mu_r$ , maka permeabilitas bahan adalah:

$$\mu = \mu_r, \mu_0$$

Sehingga induktansi diri solenoida atau toroida dengan inti adalah:

$$L_i = \frac{\mu AN^2}{l} = \mu_r L$$

Dengan:

$L_i$  = Induktansi solenoida atau toroida dengan inti (H)

$L$  = Induktansi solenoida atau toroida tanpa inti (H)

## 2. Energi dalam Suatu Induktor

Apabila energi dalam suatu kapasitor tersimpan dalam bentuk medan listrik, maka energi dalam suatu induktor tersimpan dalam bentuk medan magnetik. Besar energi dalam induktor dapat dihitung sebagai berikut:

Energi total  $W$  akibat beda potensial  $\mathcal{E}$  dan arus  $I$  yang mengalir selama interval waktu  $t$  adalah  $W = \mathcal{E}It$  sehingga energi sesaat dalam selang waktu  $dt$  adalah:

$$\begin{aligned} dW &= \mathcal{E} I dt \\ &= \left( L \frac{dI}{dt} \right) I dt \end{aligned}$$

$$dW = LI dt$$

Untuk mendapatkan energi yang tersimpan dalam induktor selama arus mengalir dari nol sampai nilai konstanta  $I$ , maka kita integrasikan kedua ruas persamaan diatas, sehingga menjadi:

$$\int_0^W dw = L \int_0^I dI$$

$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

Dengan:

$W$  = energi dalam suatu induktor (J)

$L$  = induktansi induktor (H)

$I$  = arus listrik (I)

## 3. Induktansi Silang

Besarnya ggl induksi pada kumparan primer dan sekunder berturut-turut adalah :

$$\mathcal{E} = -N_1 \frac{d\Phi_{B2}}{dt}$$

Dan

$$\mathcal{E} = -M \frac{d\Phi_{B1}}{dt}$$

Apabila induktansi silang  $M$  menyatakan induktansi timbal balik antara kumparan, maka akan memenuhi hubungan :

$$\mathcal{E} = -M \frac{dI_2}{dt}$$

$$\mathcal{E} = -M \frac{dI_1}{dt}$$

Sehingga dengan menyamakan persamaan menjadi:

$$M = \frac{N_1 \Phi_{B2}}{I_2} \text{ atau } M = \frac{N_1 \Phi_{B1}}{I_1}$$

#### Contoh soal:

Induktansi silang antara 2 buah kumparan adalah 4 mH. Tentukan ggl yang di induksi kan pada kumparan kedua jika arus pada kumparan pertama berubah dari 50 A menjadi nol dalam waktu 0,02 sekon.

**Penyelesaian:** Besaran yang di ketahui :

$$M = 4\text{mH} = 4 \times 10^{-3} \text{H}$$

$$\Delta I_1 = (0-50) = -50\text{A}$$

$$\Delta t = 0.02 \text{ s}$$

Ggl induksi pada kumparan kedua memenuhi hubungan :

$$\mathcal{E}_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t} = (4 \times 10^{-3}) \frac{(-50)}{0,02} = 10 \text{ v}$$

#### 4. Arus Pergeseran

James Clerk Maxwell (1831-1879) menyatakan bahwa adanya arus pergeseran sebagai arus fiktif yang ekivalen dengan perubahan medan listrik antara kedua keping kapasitor yang memenuhi hubungan :

$$I_d = \epsilon \frac{d\Phi_E}{dt} = \epsilon \epsilon_0 \epsilon_r \frac{d\Phi_E}{dt} = \epsilon_r \epsilon_0 A \frac{dE}{dt}$$

Dengan:

$I_d$	= arus pergeseran (A)
$\frac{d\Phi_s}{dt}$	= laju perubahan fluks listrik ( $V \cdot m^2/s$ )
$\frac{ds}{dt}$	= laju perubahan medan listrik (V/s)
$A$	= luas permukaan keping kapasitor ( $m^2$ )
$\epsilon$	= permitivitas bahan ( $C/V \cdot m^2$ )
$\epsilon_0$	= permitivitas vakum ( $C/V \cdot m^2$ )
$\epsilon_r$	= permitivitas relatif

### Contoh Soal:

suatu sumber tegangan bolak balik memiliki tegangan maksimum 100 volt dan prekuensi angular 1000 rad/s di hubungkan dengan kapasitor yang kapasitannya  $4 \mu f$ . Tentukan besar arus pegeseran yang terjadi.

### Penyelesaian:

Besaran yang di ketahui

$$V_m = 100 \text{ volt}$$

$$\omega = 1000 \text{ rad/s}$$

$$C = 4 \mu F = 4 \times 10^{-6} F$$

Tegangan sesaat dari sumber tegangan :

$$V = V_m \sin \omega t = 100 \sin 1000t \text{ volt}$$

Arus pergeseran  $I_d$  sama dengan arua induks  $I_C$ . Sehingga :

$$\begin{aligned}
 I_d = I_C &= \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt}(CV) = C \frac{dV}{dt} \\
 &= (4 \times 10^{-6}) \frac{d}{dt}(100 \sin 1000t) \\
 &= (4 \times 10^{-6})(10^5 \cos 1000t) \\
 &= 0,4 \cos 1000t \text{ A}
 \end{aligned}$$

## RANGKUMAN



Cepat rambat terbagi menjadi 2 bagian:

- Cepat rambat gelombang transversal pada dawai
- Cepat rambat bunyi

Bunyi merupakan gelombang longitudinal yang dapat merambat dalam medium padat, cair, atau gas.



Sumber bunyi terbagi menjadi 2 bagian:

- Senar sebagai sumber bunyi
- Pipa organa sebagai sumber bunyi

Pipa organa adalah alat menggunakan kolom udara sebagai sumber getar.

Ada 2 jenis pipa organa, yaitu:

- Pipa organa terbuka

Pipa organa terbuka merupakan alat tiup berupa tabung yang kedua ujung penampangnya terbuka.

- Pipa organa tertutup

Pipa organa tertutup merupakan alat tiup berupa tabung yang salah satu ujungnya terbuka dan ujungnya lainnya tertutup.



Resonansi adalah peristiwa ikut bergetarnya suatu benda akibat benda lain yang bergetar, kedua benda yang beresonansi akan memiliki frekuensi yang sama, atau frekuensi benda yang satu merupakan kelipatan frekuensi benda yang lain. Pelayangan bunyi: aplikasi interferensi bunyi

Pada saat sebuah gelombang bunyi yang memiliki amplitudo sama dan merambat dalam arah yang sama, namun memiliki frekuensi yang berbeda sedikit, maka bunyi akan terdengar keras dan lemah secara bergantian, peristiwa ini disebut pelayangan bunyi.

## EVALUASI

1. Sebuah penghantar yang digerakkan dalam medan magnetik akan menghasilkan beda potensial pada ujung-ujung penghantar yang dinamakan....
  - a. Tegangan jepit
  - b. Gaya gerak listrik induksi
  - c. Induksi elektromagnetik
  - d. fluks magnetic
  - e. kuat medan magnetik
2. Pernyataan yang sesuai dengan hukum Lenz adalah....
  - a. Ggl induksi terjadi karena perubahan fluks
  - b. Ggl induksi bergantung pada kuat medan magnetik
  - c. Ggl induksi bergantung pada kuat arus yang melalui penghantar
  - d. Ggl induksi memperkuat induksi yang sudah ada
  - e. Ggl induksi menimbulkan arus induksi yang melawan penyebabnya
3. Apabila dua kumparan didekatkan dan salah satu kumparan dialiri arus, maka...
  - a. Tidak timbul induksi
  - b. Tidak ada aliran arus akibat pengaruh kumparan lainnya
  - c. Timbul induksi hanya pada kumparan pertama
  - d. Timbul induksi timbale balik
  - e. Induksinya saling meniadakasn
4. Sebuah kumparan yang terdiri dari 100 lilitan yang berada didalam medan magnetik sehingga fluks magnetiknya  $60\mu\text{wb}$ . Jika fluks magnetik berkurang menjadi  $20\mu\text{wb}$  dalam waktu 20 m/s,

maka besar ggl induksi rata-rata yang timbul pada kumparan adalah....

- a. 0,05V                      d. 2,5V
- b. 0,1V                      e. 4V
- c. 0,2V

5. Sebuah cincin kawat yang memiliki hambatan 6 ohm melingkupi fluks magnetik yang berubah terhadap waktu  $\Phi = (t+4)^3$  weber. Pada saat  $t=4s$ , maka kuat arus yang mengalir pada cincin kawat adalah ....

- a. 4A                      d. 32A
- b. 8A                      e. 90A
- c. 16A

6. Suatu rangkaian arus bolak-balik terdiri hambatan  $R=40\Omega$  induktor  $X_L=90\Omega$  dan kapasitor  $X_C=60\Omega$  yang dipasang secara seri. Impedansi rangkaian ini sama dengan ....

- a.  $190\Omega$                       d.  $50\Omega$
- b.  $110\Omega$                       e.  $30\Omega$
- c.  $70\Omega$

7. Hipotesis tentang gejala kelistrikan dan kemagnetan yang disusun Maxwell ialah...

- a. Perubahan medan listrik akan menghasilkan medan magnet
- b. Disekitar muatan listrik terdapat medan listrik
- c. Aliran muatan listrik menghasilkan medan magnet
- d. Perubahan medan magnet akan menghasilkan medan listrik
- e. Muatan listrik menghasilkan medan listrik

8. Sebuah kumparan kawat terdiri atas 10 lilitan diletakkan dalam medan magnet. Apabila fluks magnet yang dilingkupi berubah dari  $2 \times 10^{-4}$  wb menjadi  $10^{-4}$  wb dalam waktu 10 millisekon, maka gaya gerak listrik induksi yang timbul sebesar ....
- $1 \times 10^{-1} \text{V}$
  - $2 \times 10^{-2} \text{V}$
  - $1 \times 10^{-2} \text{V}$
  - $2 \times 10^{-3} \text{V}$
  - $1 \times 10^{-3} \text{V}$
9. Fluks magnet sebesar  $2 \times 10^{-2} \text{wb}$  menembus kumparan yang memiliki 1200 lilitan. Ketika fluks tersebut berubah sebesar  $\Delta \Phi$  dihasilkan ggl induksi sebesar 120 Volt. Besarnya  $\Delta \Phi$  adalah....
- $1 \times 10^{-2} \text{weber}$
  - $2 \times 10^{-2} \text{weber}$
  - $3 \times 10^{-2} \text{weber}$
  - $4 \times 10^{-2} \text{weber}$
  - $5 \times 10^{-2} \text{weber}$
10. Fluks magnet didalam suatu kumparan yang memiliki 20 lilitan berubah sesuai persamaan:
- $$\Phi = 4t^2 + 2t + 5$$
- ggl induksi yang timbul pada kumparan saat  $t = 2$  sekon adalah....
- 18 volt
  - 90 volt
  - 180 volt
  - 270 volt
  - 360 volt

## ESSAY

- Sebuah kumparan yang memiliki hambatan 4 ohm dan induktansi 0,02 H aliri arus listrik  $I = 25 \sin 100t$  A. Tentukanlah kuat arus induksi maksimum yang mengalir melalui kumparan.
- Seorang pedagang elektronik menemukan sebuah induktor yang terbuat dari kumparan kawat dengan 50 lilitan. panjang kumparan 5 cm dengan luas penampang  $1 \text{ cm}^2$ . Hitunglah



A. induksi induktor....?

B. Energi dalam induktor jika arus yang mengalir 2 A...?

3. Suatu sumber tegangan bolak balik memiliki tegangan maksimum 100 volt dan frekuensi angular 1000 rad/s di hubungkan dengan kapasitor yang kapasitasnya  $4 \mu\text{f}$ . Tentukan besar arus geseran yang terjadi.
4. Induktansi silang antara 2 buah kumparan adalah 4 mH. Tentukan ggl yang di induksi kan pada kumparan kedua jika arus pada kumparan pertama berubah dari 50 A menjadi nol dalam waktu 0,02 sekon.
5. Sebuah kumparan sepanjang 10cm memiliki 1000 lilitan primer dan luas penampangnya  $8\text{cm}^2$ . Pada kumparan tersebut terdapat lilitan sekunder sebanyak 200 lilitan.
  - a. Berapakah induktansi silangnya?

## Ujian Semester

1. Besaran yang dimiliki baik oleh getaran maupun gelombang ialah:

1. Panjang gelombang
2. Amplitude
3. Cepat rambat
4. Frekuensi

Pernyataan yang benar adalah

- a. 1,2 dan 3
- b. 1 dan 3
- c. 2 dan 4
- d. 4 saja
- e. Semua benar

2. Berikut ini sifat-sifat gelombang longitudinal

1. Terdiri dari rapatan dan renggangan
2. Terdiri dari bukit dan lembah
3. Getarannya sejajar dengan arah rambatnya
4. Satu panjang gelombang adalah jarak dua bukit yang berdekatan

Pernyataan yang benar adalah

- a. 1,2 dan 3
- b. 2,3 dan 4
- c. 1 dan 3
- d. 2 dan 4
- e. 4 saja

3. Gelombang mekanik tidak dapat merambat didalam

- a. Air
- b. Uap panas

- c. Kaca
  - d. Logam
  - e. Hampa
4. Berapa kalikah dalam satu menit sebuah perahu akan bergerak naik-turun oleh gelombang lautan, yang panjang gelombangnya 40 m dan laju perambatannya 5 m/s ?
- a. 2,5 kali
  - b. 5,0 kali
  - c. 7,5 kali
  - d. 10,0 kali
  - e. 12,5 kali
5. Resonansi pertama pada tabung resonansi terjadi ketika panjang kolom udara 20 cm. jika laju rambat bunyi udara saat itu adalah 340 m/s, maka frekuensi resonansi saat itu adalah.....
- a. 350 Hz
  - b. 425 Hz
  - c. 500 Hz
  - d. 525 Hz
  - e. 675 Hz
6. Sebuah sumber bunyi memancarkan bunyi berdaya 0,0005 watt. jika  $\log 2 = 0,3$ , sedang  $4\pi \approx 12,5$ , maka taraf intensitas bunyi yang didengar pengamat pada jarak 10 m dari sumber adalah.....
- a. 56 dB
  - b. 59 dB
  - c. 64 dB
  - d. 69 dB
  - e. 70 dB

7 Pada sebuah percobaan gelombang berdiri digunakan dawai dengan massa

per satuan panjang  $0,01 \text{ gram/cm}$ , panjang  $1,5 \text{ meter}$  dan diberi beban  $160$

gram. jika pada dawai terbentuk lima simpul dan empat perut gelombang, dan

percepatan gravitasi  $10 \text{ m/s}^2$ , maka frekuensi gelombang dawai itu adalah.....

- a.  $5333 \text{ Hz}$
- b.  $53,33 \text{ Hz}$
- c.  $53,3 \text{ Hz}$
- d.  $5,333 \text{ Hz}$
- e.  $533,3 \text{ Hz}$

8. Sebuah garpu tala digetarkan di dekat mulut sebuah tabung resonansi. frekuensi garpu tala itu  $600 \text{ Hz}$ . jika di tempat itu cepat rambat bunyi di udara  $330 \text{ m/s}$ , maka agar terjadi resonansi tinggi kolom udara dalam tabung resonansi itu minimal....

- a.  $4 \text{ m}$
- b.  $5,8 \text{ cm}$
- c.  $8 \text{ cm}$
- d.  $3,6 \text{ cm}$
- e.  $7 \text{ cm}$

9. 5. gelombang berfrekuensi  $75 \text{ Hz}$  merambat pada seutas tali yang mempunyai massa jenis  $2 \times 10^{-3} \text{ kg/m}$ . berapakah panjang gelombang jika besar tegangan tali  $0,45 \text{ N}$ .....

- a.  $2 \text{ cm}$
- b.  $4 \text{ m}$
- c.  $20 \text{ cm}$
- d.  $5 \text{ m}$
- e.  $6 \text{ m}$

10. Cahaya matahari datang pada permukaan air yang indeks biasnya  $\frac{4}{3}$  sehingga menghasilkan cahaya pantul terpolarisasi linear. Berapakah sudut polarisasi dan sudut biasnya?
- a.  $53^\circ$  dan  $37^\circ$
  - b.  $54^\circ$  dan  $38^\circ$
  - c.  $54^\circ$  dan  $37^\circ$
  - d. e.  $55^\circ$  dan  $37^\circ$
  - e.  $53^\circ$  dan  $38^\circ$
11. Seberkas sinar dengan sudut datang  $45^\circ$  melewati suatu prisma sama sisi yang berada di udara dan terjadi deviasi minimum, berapakah deviasi minimum tersebut ?
- a.  $15^\circ$
  - b.  $20^\circ$
  - c.  $25^\circ$
  - d.  $30^\circ$
  - e.  $45^\circ$
12. Sifat yang terjadi pada cermin cembung adalah...
- f. Maya, tegak, dan diperbesar.
  - g. Nyata, tegak, dan diperbesar.
  - h. Maya, terbalik, dan diperbesar.
  - i. Nyata, terbalik, dan diperkecil.
  - j. Maya, tegak, dan diperkecil.
13. Pada percobaan interferensi cincin newton digunakan cahaya dengan panjang gelombang  $\lambda = 5700 \text{ \AA}$ . Hasil pengamatan menunjukkan jari-jari lingkaran gelap kesepuluh adalah 6 mm. Berapakah jari-jari kelengkungan lensa tersebut ?
- a. 4, 23 m d. 6, 23 m
  - b. 32 m e. 6,00 m
  - c. 6, 32 m

14. Jarak antara kedua celah dan jarak celah kelayar pada percobaan young masing-masing adalah 1,5 mm dan 2 m. Apabila panjang gelombang yang digunakan adalah 600 nm. Maka, jarak antara gelap keempat dengan terang pusat adalah...
- 2,2 mm dan 4,2 mm
  - 2,4 mm dan 8,2 mm
  - 2,8 mm
15. yang bermuatan adalah...
- Berbanding lurus dengan besar muatan
  - Berbanding terbalik dengan beda potensial antara kedua pelat
  - Makin besar jika jarak antara dua pelat diperbesar
  - Makin besar jika luas pelat diperbesar
  - Tidak bergantung pada dielektrik
16. Besar usaha untuk memindahkan muatan positif 10 C dari suatu titik yang potensialnya 10 V ke suatu titik yang potensialnya 60 V adalah...
- 25 J
  - 250 J
  - 300 J
  - 500 J
  - 600 kJ
17. Dua partikel masing-masing bermuatan  $2\ \mu\text{C}$  dan  $3\ \mu\text{C}$  terpisah sejauh 4 cm. besar gaya elektrostatis menjadi...
- 11,55 N
  - 22,65 N
  - 33,75 N
  - 44,85 N
  - 55,95 N
18. Hitunglah kuat medan listrik di suatu titik berjarak 4 cm dari sebuah muatan sumber  $0,2\ \mu\text{C}$ ...
- 112.500 N/C
  - 113.500 N/C
  - 114.500 N/C
  - 115.500 N/C
  - 116.500 N/C

19. Sebuah kapasitor pelatsejajar mempunyai potensial 12 V antara pelat sejajar, dan jarak antara pelat sebesar 3 cm. kuat medan listrik adalah...
- 100 N/C
  - 200 N/C
  - 300 N/C
  - 400 N/C**
  - 500 N/C
20. Dua kapasitor 4  $\mu\text{F}$  dan 2  $\mu\text{F}$  disusun seri, kemudian diberi tegangan 6 volt. Energy yang tersimpan didalamnya adalah...
- $0,4 \times 10^{-5} \text{ J}$
  - $0,5 \times 10^{-5} \text{ J}$
  - $1,4 \times 10^{-5} \text{ J}$
  - $1,5 \times 10^{-5} \text{ J}$
  - $2,4 \times 10^{-5} \text{ J}$**
21. Suatu kumparan yang berdiameter 40 cm dialiri arus 2,5 A. Ternyata kuat medan magnet dipusat sebesar  $1,26 \times 10^{-4} \text{ T}$ . Jumlah lilitan kumpalan ini sebanyak.....
- 8
  - 12
  - 16
  - 20
  - 25
22. Solenoida panjangnya 5 cm dengan 200 lilitan diberi inti besi lunak yang permeabilitas relatifnya 150, kemudian dialiri arus 0,5 A. Induksi magnet didalam solenoida adalah....Tesla
- $1,2 \pi$
  - $0,12 \pi$**
  - $0,08 \pi$**
  - $0,008 \pi$
  - $0,90 \pi$**
23. Pernyataan berikut yang benar adalah....
- Pada bahan paramagnet, lingkaran arus memperkuat medan magnet
  - Pada bahan paramagnet, lingkaran arus tak berpengaruh

- c. Pada bahan diamagnet, lingkaran arus sedikit memperkuat medan magnet
  - d. Pada bahan diamagnet, lingkaran arus searah medan magnet luar
  - e. Pada bahan ferromagnet, lingkaran arus saling tegak lurus
24. Arah gaya magnet yang dialami kawat penghantar adalah....
- a. Ke sumbu y positif
  - b. Ke sumbu y negative
  - c. Keluar bidang gambar
  - d. Ke dalam bidang gambar
  - e. Ke sumbu x positif
25. Dua kawat sejajar masing-masing panjangnya 1 meter terpisah sejauh 1 meter dan masing-masing berarus listrik 1 ampere. Gaya magnet pada salah satu kawat besarnya....
- a. 2,0 N
  - b.  $6 \times 10^{-2}$  N
  - c.  $2 \times 10^{-6}$  N
  - d.  $7 \times 10^{-2}$  N
  - e.  $2 \times 10^{-7}$  N
26. Suatu rangkaian arus bolak-balik terdiri hambatan  $R=40\Omega$  induktor  $X_L=90\Omega$  dan kapasitor  $X_C=60\Omega$  yang dipasang secara seri. Impedansi rangkaian ini sama dengan ....
- a.  $190\Omega$
  - b.  $110\Omega$
  - c.  $70\Omega$
  - d.  $50\Omega$
  - e.  $30\Omega$



27. Hipotesis tentang gejala kelistrikan dan kemagnetan yang disusun Maxwell ialah...
- Perubahan medan listrik akan menghasilkan medan magnet
  - Disekitar muatan listrik terdapat medan listrik
  - Aliran muatan listrik menghasilkan medan magnet
  - Perubahan medan magnet akan menghasilkan medan listrik
  - Muatan listrik menghasilkan medan listrik
28. Sebuah kumparan kawat terdiri atas 10 lilitan diletakkan dalam medan magnet. Apabila fluks magnet yang dilingkupi berubah dari  $2 \times 10^{-4}$  wb menjadi  $10^{-4}$  wb dalam waktu 10 millisekon, maka gaya gerak listrik induksi yang timbul sebesar ....
- $1 \times 10^{-1} \text{V}$
  - $2 \times 10^{-2} \text{V}$
  - $1 \times 10^{-2} \text{V}$
  - $2 \times 10^{-3} \text{V}$
  - $1 \times 10^{-3} \text{V}$
29. Fluks magnet sebesar  $2 \times 10^{-2} \text{wb}$  menembus kumparan yang memiliki 1200 lilitan. Ketika fluks tersebut berubah sebesar  $\Delta \Phi$  dihasilkan ggl induksi sebesar 120 Volt. Besarnya  $\Delta \Phi$  adalah....
- $1 \times 10^{-2} \text{weber}$
  - $2 \times 10^{-2} \text{weber}$
  - $3 \times 10^{-2} \text{weber}$
  - $4 \times 10^{-2} \text{weber}$
  - $5 \times 10^{-2} \text{weber}$
30. Fluks magnet didalam suatu kumparan yang memiliki 20 lilitan berubah sesuai persamaan:
- $$\Phi = 4t^2 + 2t + 5$$
- ggl induksi yang timbul pada kumparan saat  $t = 2$  sekon adalah....
- 18 volt
  - 90 volt
  - 180 volt
  - 270 volt
  - 360 volt

# **RELATIVITAS**

Suatu benda dikatakan diam atau bergerak dengan membandingkannya dengan suatu kerangka acuan. Semua gerak adalah relatif, bergantung pada kerangka acuan yang dipilih. Sebenarnya Hukum Newton memuaskan untuk menjawab peristiwa-peristiwa fisika yang berhubungan dengan kelajuan benda yang jauh lebih kecil dari kecepatan cahaya. Tetapi, hukum ini gagal menjelaskan peristiwa-peristiwa fisika yang berhubungan dengan kelajuan benda yang mendekati kecepatan cahaya (kelajuan relativitas). Selanjutnya, peristiwa-peristiwa yang berhubungan dengan kelajuan relativistic khusus yang dikemukakan oleh Albert Einsten pada tahun 1905.

Modul ini diawali dengan fisika klasik berdasarkan prinsip Relativitas Newton dan dilanjutkan dengan peristiwa-peristiwa fisika yang berdasarkan prinsip relativitas Einstein.

Dalam pembahasan relativitas, kerangka acuan yang digunakan adalah kerangka acuan inersial, yaitu kerangka acuan yang berada dalam keadaan diam atau bergerak dengan kecepatan konstan pada suatu garis lurus. Prinsip Relativitas Newton menyatakan bahwa semua hukum mekanika Newton berlaku sama untuk semua kerangka acuan inersial.

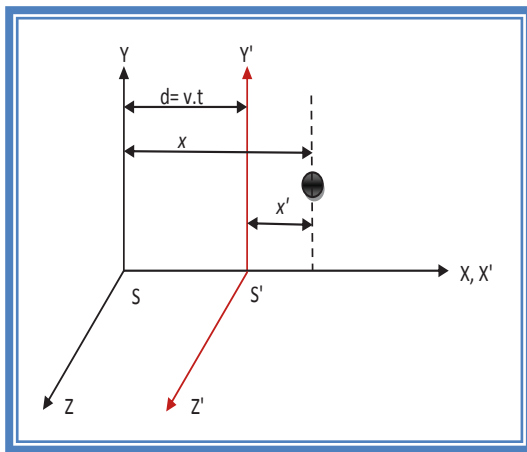
## **A. Transformasi Koordinat**

Posisi maupun gerak suatu benda bisa berbeda jika ditinjau dari kerangka acuan yang berbeda. Berdasarkan gerak relatif antara dua kerangka acuan, kita bisa menentukan koordinat benda pada kerangka acuan pertama berdasarkan koordinat benda itu pada kerangka acuan kedua, atau sebaliknya. Dalam hal ini kita melakukan transformasi koordinat. Ada dua transformasi koordinat yang akan

dibahas pada modul ini, yaitu transformasi Galileo dan transformasi Lorentz.

## 1. Transformasi Galileo

Dengan menggunakan transformasi Galileo kita dapat memindahkan koordinat ruang dan waktu dari suatu kerangka acuan inersial yang diam ke kerangka acuan inersial yang bergerak lurus dengan kecepatan konstan.



$S$  = kerangka acuan yang diam

$S'$  = kerangka acuan yang bergerak dengan kecepatan konstan

- Transformasi Galileo untuk koordinat dan waktu

$$\begin{aligned}x' &= x - v \cdot t \\y &= y' \\z &= z' \\t &= t'\end{aligned}$$

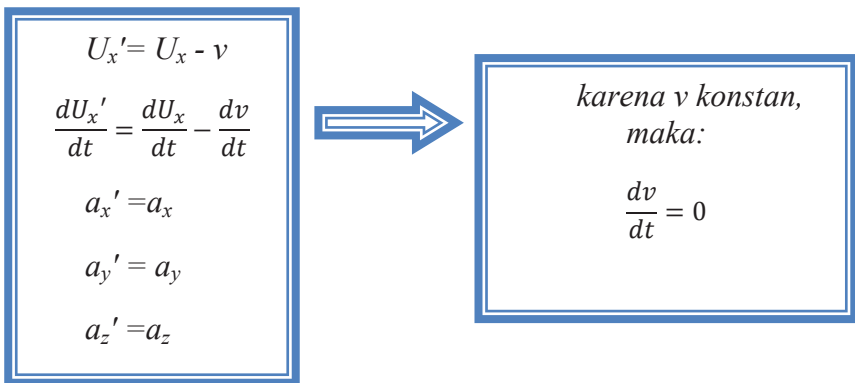
transformasi kebalikannya

$$\begin{aligned}x &= x' + v \cdot t \\y &= y' \\z &= z' \\t &= t'\end{aligned}$$

- Transformasi Galileo untuk kecepatan



- Transformasi Galileo untuk Percepatan



Hal tersebut menunjukkan bahwa  $F = F'$ , jadi hukum-hukum Newton tentang gerak (mekanika Newton) berlaku sama pada semua kerangka acuan inersial, sedangkan kecepatan benda tergantung kerangka acuan (bersifat relatif).

### Contoh soal

Di dalam sebuah kereta api yang bergerak dengan kelajuan 70 km/jam, seorang pemain bola melemparkan bola dengan kelajuan 15 km/jam. tentukan kelajuan benda terhadap orang yang diam di tepi rel kereta jika arah lemparan:

- Searah gerak kereta api,
- Berlawanan dengan arah gerak kereta api.

### Pembahasan:

Orang yang diam di tepi rel kereta kita anggap sebagai kerangka acuan ( $S$ ), dan kereta api sebagai kerangka acuan yang bergerak ( $S'$ ) dgn kelajuan  $v = 70$  km/jam terhadap  $S$

- Gerak bola searah gerak kereta api

$$u_x' = 15 \text{ km/jam}$$

Kelajuan bola relatif terhadap orang yang diam di tepi rel kereta:

$$u_x = u_x' + v$$

$$u_x = 15 + 70$$

$$u_x = 85 \text{ km/jam}$$

- Gerak bola berlawanan arah dengan gerak kereta api:

$$u_x' = -15 \text{ km/jam}$$

Kelajuan bola relatif terhadap orang yang diam di tepi rel kereta:

$$u_x = u_x' + v$$

$$u_x = -15 + 70$$

$$u_x = 55 \text{ km/jam}$$

## Latihan!

Sebuah kereta api bergerak dengan kecepatan 60 km/jam. Seorang penumpang berjalan dalam kereta dengan kecepatan 6 km/jam searah dengan kereta. Berapa kecepatan penumpang tersebut terhadap orang yang diam di tepi rel?

## 2. Transformasi Lorentz

Untuk permasalahan fisika yang melibatkan kecepatan yang jauh lebih kecil dari kecepatan cahaya, maka transformasi Galileo masih berlaku. Akan tetapi, untuk permasalahan yang lebih luas yang menyangkut kecepatan yang hampir menyamai kecepatan cahaya diperlukan transformasi baru. Dan transformasi baru itu dikemukakan oleh H.A Lorentz (1853-1928) pada tahun 1890 yang disebut dengan transformasi Lorentz.

Berdasarkan konsep relativitas Einstein, maka selang waktu  $t$  menurut kerangka acuan diam **TIDAK SAMA** dengan selang waktu  $t'$  menurut kerangka acuan bergerak.

$$t \neq t'$$

### a. Transformasi Komponen Koordinat

Transformasi Lorentz yang berlaku untuk semua kelajuan  $v$  mulai dari  $v=0$  sampai dengan  $v=c$ , untuk transformasi koordinat waktu adalah sebagai berikut:



Dengan lambang  $\gamma$  (gamma), disebut *tetapan transformasi*:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

## b. Transformasi Kecepatan

Oleh karena hukum fisika tidak berubah pada tiap kerangka acuan inersial manapun, besar kecepatan dapat ditentukan berdasarkan persamaan umum,  $v = \frac{dx}{dt}$ .

Pada kerangka acuan diam, besar kecepatan  $u$  dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$u_x = \frac{dx}{dt}; u_y = \frac{dy}{dt}; u_z = \frac{dz}{dt}$$

Sedangkan pada kerangka acuan bergerak, besar kecepatan  $u$  dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

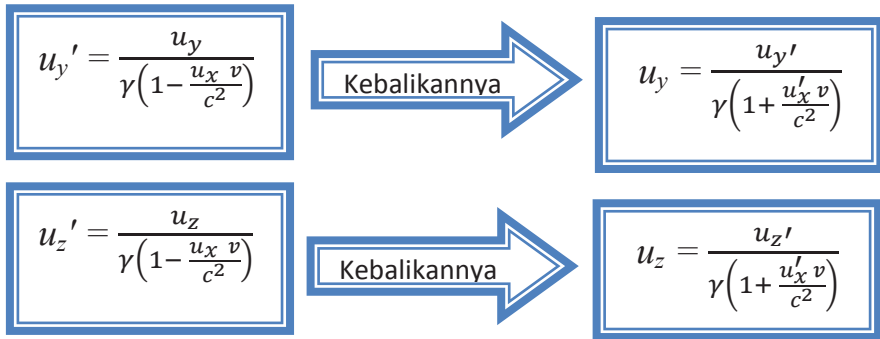
$$u_x' = \frac{dx'}{dt'}; u_y' = \frac{dy'}{dt'}; u_z' = \frac{dz'}{dt'}$$

Berdasarkan persamaan-persamaan diatas, maka diperoleh:

$$u_x' = \frac{u_x - v}{1 - \frac{u_x v}{c^2}}$$

$\longrightarrow$   
 Kebalikannya  
 $\longrightarrow$

$$u_x = \frac{u_x' + v}{1 - \frac{u_x' v}{c^2}}$$



### Contoh soal

Seorang pengamat yang diam di bumi mengamati sebuah benda langit P berjarak  $4 \times 10^8$  m dengan menggunakan teropong. Tiba-tiba sebuah pesawat antariksa canggih melintasi pengamat itu dengan kecepatan konstan sebesar  $0,2c$  lurus ke arah benda P. Berapakah jarak benda P dari pesawat antariksa setelah 2 sekon?

### Pembahasan:

Pengamat yang diam di bumi dianggap sebagai kerangka acuan diam (S), Pesawat yang bergerak dianggap sebagai kerangka acuan bergerak (S') dengan  $v = 0,2c$ ;  $t = 2$  sekon;  $x = 4 \times 10^8$  m.

$$x' = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} (x - vt)$$

$$x' = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,2c}{c}\right)^2}} (4 \times 10^8 \text{ m} - (0,2c)(2 \text{ s}))$$

$$x' = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,2c}{c}\right)^2}} (4 \times 10^8 \text{ m} - (0,2(3 \times 10^8 \text{ m/s}))(2 \text{ s}))$$

$$x' = \frac{1}{\sqrt{1 - (0,04)}} 2,8 \times 10^8 = 2,86 \times 10^8 \text{ m}$$



## Latihan!

Seorang pengamat di S mencatat kejadian pada  $x=3$  dan  $t=10s$ . Sistem S' bergerak dengan kecepatan  $0,5 c$  relative terhadap sistem S searah sumbu X. Tentukan koordinat yang dicatat oleh sistem pengamat di sistem S' dan bandingkan hasil yang diperoleh dengan transformasi Galileo!

### B. Eksperimen Michelson dan Morley

Pada tahun 1887, dua ilmuwan fisika berkebangsaan Amerika bernama Albert Abraham Michelson (1852-1931) dan E.W. Morley (1838-1923) telah melakukan percobaan untuk menyelidiki tentang eter yang dianggap sebagai medium perambatan gelombang cahaya yang mengisi alam semesta dengan menggunakan alat yang disebut *interferometer*.

Michelson dan Morley menggunakan prinsip penjumlahan vector kecepatan sehingga terjadi perbedaan waktu antara sinar yang melewati cermin I dan cermin II yang dapat diamati melalui pola interferensi akibat perbedaan fase kedua sinar, seandainya eter benar-benar ada.

Sinar datang pada gelas setengah cermin sehingga sebagian sinar akan diteruskan ke cermin I dan sebagian sinar akan dipantulkan ke cermin II yang selanjutnya kedua sinar akan sampai dilayar pengamat. Apabila ada eter yang bergerak dengan kelajuan  $v$ , maka akan terjadi perbedaan waktu.

$$\Delta t = \frac{Lv^2}{c^2}$$

Dengan  $L$  adalah jarak kedua cermin ke gelas setengah cermin dan  $c$  adalah kecepatan cahaya.

Hasil pengamatan yang dilakukan berulang kali dengan posisi dan waktu yang berbeda menunjukkan bahwa tidak terjadi perbedaan

waktu di antara kedua sinar tersebut. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa:

1. *Hipotesis tentang eter tidak benar, ternyata eter tidak ada.*
2. *Kecepatan cahaya adalah besaran mutlak, tidak bergantung pada kerangka acuan inersial.*

### C. Postulat Einstein

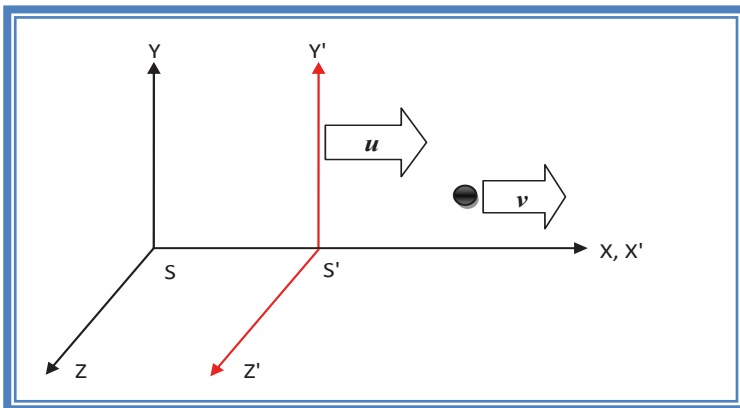
Dalam teori relativitas khusus, Einstein menyatakan dua postulat penting yang dikenal sebagai prinsip relativitas Einstein, yaitu:

1. Semua hukum fisika memiliki bentuk yang sama pada semua kerangka acuan inersial.
2. Kelajuan cahaya di ruang hampa kesegala arah adalah sama untuk semua pengamat, tidak bergantung pada gerak sumber cahaya maupun pengamat.

### D. Formulasi Teori Relativitas Khusus

#### 1. Relativitas Kecepatan

Kerangka acuan  $S'$  bergerak relatif terhadap kerangka acuan  $S$  dengan kecepatan tetap  $u$  searah sumbu  $-X$  seperti pada gambar. Titik  $P$  yang berada pada kerangka acuan  $S'$  bergerak dengan kecepatan  $v$  relatif terhadap pengamat dalam kerangka acuan  $S'$  dengan arah sejajar sumbu  $X, X'$ .



Kecepatan titik P menurut pengamat dalam kerangka acuan S adalah:

$$u_x = \frac{u_x' + v}{1 + \frac{u_x' v}{c^2}} \quad \longleftrightarrow \text{Kebalikan} \quad u_x' = \frac{u_x - v}{1 - \frac{u_x v}{c^2}}$$

Dimana:  $u_x$  = kecepatan P menurut pengamat di S;  
 $u_x'$  = kecepatan S' menurut S;  
 $v$  = kecepatan P menurut S' dan  
 $c$  = kelajuan cahaya.

### Contoh soal

Di dalam alat pemercepat partikel (akselerator), ilmuwan mengamati partikel Q bergerak dengan kecepatan  $0,8c$  ke kanan. Partikel R bergerak terhadap partikel Q dengan kecepatan  $0,6c$  ke kanan. Tentukan kecepatan partikel R relative terhadap ilmuwan berdasarkan :

- Relativitas Newton,
- Relativitas Einstein.

### Pembahasan:

P kita pilih sebagai kerangka acuan  $s$  dan partikel Q sebagai kerangka acuan  $s'$  yang bergerak dengan kecepatan  $v = 0,8c$  relative terhadap  $s$ . Partikel R adalah benda yang bergerak terhadap kerangka acuan  $s$  dengan kecepatan  $u_x$  dan terhadap kerangka acuan  $s'$  dengan kecepatan  $u_x' = 0,6c$ .

- Berdasarkan relativitas Newton, maka

$$\begin{aligned} u_x &= u_x' + v \\ &= 0,6c + 0,8c \\ &= 1,4c \end{aligned}$$

- Berdasarkan relativitas Einstein, maka

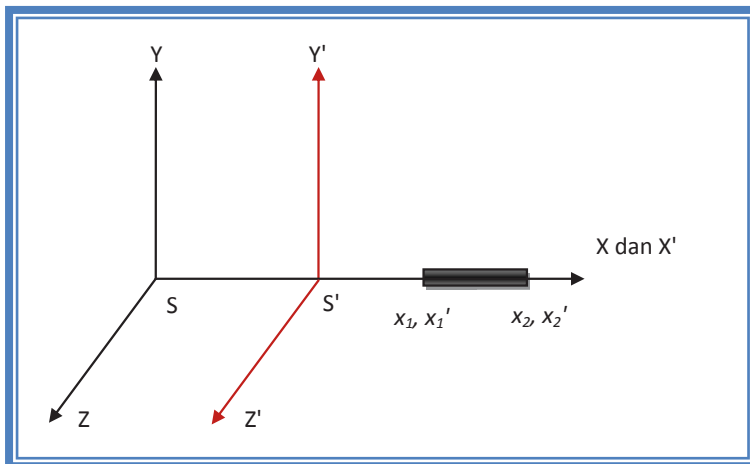
$$\begin{aligned} u_x &= \frac{u_x' + v}{1 + \frac{u_x' v}{c^2}} \\ &= \frac{0,6c + 0,8c}{1 + \frac{(0,6c)(0,8c)}{c^2}} = \frac{1,4c}{1,48} = 0,95c \end{aligned}$$

## Latihan!

1. Seorang pengamat di Bumi melihat dua pesawat angkasa luar A dan B. Pesawat A mendekati Bumi dengan kecepatan  $0,8c$  sedangkan pesawat B menjauhi Bumi dengan kecepatan  $0,6c$ . Tentukan kecepatan pesawat:
  - a. A menurut pilot B,
  - b. B menurut pilot A
2. Seorang mahasiswa mengamati partikel B bergerak terhadapnya dengan kecepatan  $0,4c$  ke kanan. Partikel A bergerak terhadap partikel B dengan kecepatan  $0,6c$  ke kanan. Tentukan kecepatan partikel A relative terhadap dirinya berdasarkan:
  - a. Relativitas Newton
  - b. Relativitas Einstein

## 2. Relativitas Panjang

Panjang benda bila diukur dalam kerangka acuan di mana benda diam terhadap kerangka acuan tersebut disebut **panjang sejati** (*proper length*) diberi lambing  $L_0$ . panjang benda yang sama jika diukur dalam kerangka acuan yang sedang gerak **sejajar** terhadap benda dengan kelajuan  $v$  disebut **panjang Relativistik**, diberi lambang  $L$ .



$$L = x_2 - x_1$$

$$L_o = x_2' - x_1'$$

Berdasarkan persamaan  $x' = \gamma(x - vt)$ , maka persamaannya menjadi :

$$L_o = \gamma(x_2 - vt_2) - \gamma(x_1 - vt_1)$$

$$L_o = \gamma[(x_2 - x_1) - v(t_2 - t_1)]$$

Karena waktu pengukuran  $x_1$  sama dengan waktu pengukuran  $x_2$ , maka  $(t_2 - t_1) = 0$ , sehingga:

$$x_2' - x_1' = \gamma(x_2 - x_1)$$

$$L_o = \gamma L$$

$$L_o = \frac{L}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$



$$L = L_o \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

### Contoh soal

Ada sebuah benda yang panjangnya 2 meter, tentukan berapa panjang batang tersebut yang diamati oleh yang diam, jika diamati orang dengan kecepatan  $0,6c$  ?

#### Pembahasan:

Diketaui:  $L = 2$  meter

$$V = 0,6c$$

Ditanya:  $\Delta L_o = ?$

Jawab :

$$\begin{aligned} \Delta L &= L_o \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \\ \Delta L_o &= \frac{L}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2}{\sqrt{1 - \frac{(0,6)^2}{c^2}}} = \frac{2}{\sqrt{1 - 0,36}} \\ &= \frac{2}{0,8} = 2,5 \text{ meter} \end{aligned}$$

## Latihan!

1. Jarak antara 2 pucuk gunung yang berada di bumi adalah 100 km, tentukan jarak antara 2 puncak gunung ini menurut pengamat yang berada dalam pesawat antariksa yang sedang bergerak dengan kecepatan  $0,8c$ ?
2. Sebuah kubus memiliki volum sesungguhnya  $125m^3$ . Tentukan volumnya, menurut seorang pengamat yang bergerak dengan kecepatan  $0,6c$  relatif terhadap kubus dalam arah sejajar dengan salah satu rusuk?

### 3. Dilatasi Waktu

Berdasarkan teori Relativitas Einstein, selang waktu yang diukur oleh pengamat yang diam tidak sama dengan selang waktu yang diukur oleh pengamat yang bergerak terhadap suatu kejadian. Selang waktu yang diukur oleh jam yang diam terhadap kejadian disebut *selang waktu sejati (proper time)*. Dan jika selang waktu yang diukur oleh jam yang bergerak dengan kecepatan  $v$  terhadap kejadian disebut *selang waktu relativistik*. Ternyata waktu yang diukur oleh sebuah jam yang bergerak terhadap kejadian lebih besar dibandingkan terhadap jam yang diam terhadap kejadian. Peristiwa mulurnya waktu yang diamati oleh pengamat yang bergerak terhadap kejadian disebut *pemuluran waktu atau Dilatasi Waktu (time dilatation)*. Dan memenuhi hubungan:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

dimana:

$\Delta t$  = selang waktu menurut pengamat yang bergerak terhadap kejadian

$\Delta t_o$  = selang waktu menurut pengamat yang diam terhadap kejadian.

### Contoh soal

Sepasang anak kembar Andi dan Ando, Andi berkelana diantariksa menggunakan pesawat antariksa dengan kelajuan tinggi. Setelah 10 tahun berkelana Andi kembali ke Bumi, tetapi menurut catatan Ando, Andi telah berkelana selama 20 tahun. Berapakah kelajuan pesawat antariksa yang ditumpangi Andi dalam perjalanan?

### Pembahasan:

dik :  $\Delta t_o = 10$  tahun  $\Delta t = 20$  tahun

ditanya:  $v = \dots?$

jawab :

$$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_o \quad \longleftrightarrow \quad \gamma = \frac{\Delta t}{\Delta t_o} = \frac{20}{10} = 2$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad \longleftrightarrow \quad \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = \frac{1}{\gamma}$$

$$1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2 = \left(\frac{1}{\gamma}\right)^2$$

$$\left(\frac{v}{c}\right)^2 = 1 - \left(\frac{1}{\gamma}\right)^2$$

$$\left(\frac{v}{c}\right)^2 = 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2$$

$$\left(\frac{v}{c}\right)^2 = 1 - \left(\frac{1}{4}\right)$$

$$\left(\frac{v}{c}\right)^2 = \left(\frac{3}{4}\right)$$

$$\left(\frac{v}{c}\right) = \sqrt{\frac{3}{4}}$$

$$v = \sqrt{\frac{3}{4}} c$$

$$v = \frac{1}{2} \sqrt{3} c$$

Jadi, kelajuan pesawat antariksa yang ditumpangi Andi dalam perjalanan adalah  $\frac{1}{2} \sqrt{3} c$ .

### Latihan!

1. Sepasang anak kembar Andi dan Ando, Andi berkelana diantariksa menggunakan pesawat antariksa dengan kelajuan tinggi. Setelah 10 tahun berkelana Andi kembali ke Bumi, tetapi menurut catatan Ando, Andi telah berkelana selama 20 tahun. Berapakah kelajuan pesawat antariksa yang ditumpangi Andi dalam perjalanan?
2. Laju detak jantung seorang astronaut diukur 60detak/menit sebelum astronaut melakukan perjalanan ke ruang antariksa. ketika astronaut sedang mengangkasa dengan kecepatan  $0,6c$  terhadap bumi, berapakah laju detak jantung astronaut tersebut menurut pengamat di laboratorium Bumi?

## 4. Relativitas Massa

Einstein menyatakan bahwa massa juga merupakan besaran relatif jika bergerak dengan kelajuan mendekati cahaya ( $c$ ). Massa suatu benda ketika diam berbeda dengan massanya ketika bergerak dengan kecepatan tinggi. Jika  $m_0$  menyatakan massa suatu benda ketika diam dan  $m$  menyatakan massa benda itu ketika bergerak, hubungan keduanya memenuhi persamaan:

$$m = \gamma m_0$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Dengan memperhatikan bahwa nilai  $v$  selalu kurang dari  $c$ , maka nilai  $\gamma$  selalu lebih dari 1. Jadi, Persamaan diatas menunjukkan bahwa massa benda yang bergerak lebih besar dari pada massa diamnya.



### Contoh soal

Jika laju suatu partikel  $0,6c$ , berapakah perbandingan massa relativistik partikel terhadap massa diamnya?

### Pembahasan:

Dik :  $v = 0,6c$

$$m = \gamma m_0 \quad \longleftrightarrow \quad \frac{m}{m_0} = \gamma$$
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0,6c)^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,36}}$$
$$= \frac{1}{\sqrt{0,64}} = \frac{1}{0,8} = \frac{10}{8} = \frac{5}{4}$$

Jadi, perbandingan massa relativistik partikel terhadap massa diamnya adalah 5:4

### Latihan!

1. Tentukan perbandingan massa relativistik partikel!
2. Berapa massa benda relativistik yang bergerak dengan kecepatan  $0,8c$  jika sewaktu diam massanya adalah 3 kg?

## 5. Relativitas Energi

Salah satu hal terpenting yang merupakan konsekuensi dari formulasi teori relativitas khusus adalah konsep kesetaraan massa dan energi. Einstein menyatakan bahwa energi bisa dihasilkan dari massa. Artinya, sejumlah massa tertentu dapat menghasilkan sejumlah energi tertentu.

Dengan  $m$  adalah massa benda,  $E$  adalah energi, dan  $c$  adalah laju cahaya dalam ruang hampa, prinsip kesetaraan massa dan energi dirumuskan dengan sebuah persamaan sederhana:

$$E = mc^2$$

Saat diam, benda bermassa  $m_0$  akan memiliki energi:  $E_0 = m_0c^2$ . Saat bergerak, massa benda membesar menjadi  $m = \gamma m_0$  dan energinya

menjadi  $E=mc^2$ . Dapat dipahami bahwa  $E > E_0$ . Berdasarkan hukum kekekalan energi, kita perlu menanyakan asal tambahan energi itu.

Tambahan energi pada massa benda yang bergerak diperoleh dari energi kinetik relativistiknya ( $E_k$ ) sesuai persamaan:

$$E_0 + E_k = E$$

Dengan demikian, energi kinetik sebuah partikel yang bergerak relativistik sama dengan selisih antara energi total dengan energi diamnya.

$$E_k = E - E_0$$

dimana :

$$E_0 = m_0 c^2$$

dan

$$E = mc^2$$

$$E = \gamma m_0 c^2$$

$$E = \gamma E_0$$

Sehingga diperoleh:

$$E_k = E - E_0$$

$$E_k = \gamma E_0 - E_0$$

$$E_k = (\gamma - 1) E_0$$

$$E_k = \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) m_0 c^2$$

### Contoh soal

Tentukan massa dan Kelajuan elektron yang memiliki energi kinetik 100 keV jika masa diamnya  $9,11 \times 10^{-31}$  kg!

### Pembahasan:

Dik :  $E_k = 100 \text{ keV}$

$$= 100 \times (1,6 \times 10^{-16} \text{ J}) = 1,6 \times 10^{-14} \text{ J}$$

$$m_0 = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

Dit : Massa dan Kelajuan elektron?

Jawab :

Massa elektron dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$EK = mc^2 - m_0c^2$$

$$m = m_0 + \frac{EK}{c^2}$$

$$m = 9,11 \times 10^{-31} + \frac{1,6 \times 10^{-14}}{(3 \times 10^8)^2}$$

$$m = 10,89 \times 10^{-31} \text{ hg}$$

Kelajuan elektron dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$v = \sqrt{1 - \left(\frac{m_0}{m}\right)^2} c$$

$$v = \sqrt{1 - \left(\frac{9,11 \times 10^{-31}}{10,89 \times 10^{-31}}\right)^2} c$$

$$v = 0,55 c$$

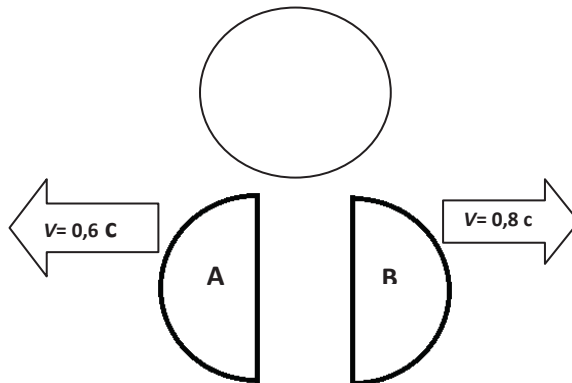
**Perlu di ingat !!!**

**Pada Energi Relativitas berlaku Hukum Kekekalan Energi tetapi Tidak berlaku untuk Hukum Kekekalan Massa.**

### Contoh soal

Suatu benda yang memiliki massa mula-mula ( $m_0$ ), benda tersebut mengalami ledakan yang mengakibatkan benda terbagi menjadi dua bagian dengan massa yang sama sebesar 2kg dan saling menjauh dengan kecepatan 0,6c dan 0,8c. Tentukan massa mula-mula benda tersebut!

Penyelesaian:



Dik :  $m_A = m_B = 2 \text{ kg}$

$V_A = 0,6 c$

$V_B = 0,8 c$

$E_o = E_A + E_B$

$$m_o c^2 = \frac{m_{oA} c^2}{\sqrt{1 - \frac{v_A^2}{c^2}}} + \frac{m_{oB} c^2}{\sqrt{1 - \frac{v_B^2}{c^2}}}$$

$$m_o = \frac{m_{oA}}{\sqrt{1 - \frac{v_A^2}{c^2}}} + \frac{m_{oB}}{\sqrt{1 - \frac{v_B^2}{c^2}}}$$

$$m_o = \frac{2}{\sqrt{1 - \frac{(0,6 c)^2}{c^2}}} + \frac{2}{\sqrt{1 - \frac{(0,8 c)^2}{c^2}}}$$

$$m_o = \frac{2}{0,8} + \frac{2}{0,6}$$

$$m_o = 5\frac{5}{6} \text{ kg}$$

### Latihan!

1. Berapa besar energi yang harus diberikan untuk mempercepat sebuah elektron yang bermassa diam  $9,11 \times 10^{-31}$  kg agar kelajuannya  $0,6 c$ ?
2. Daya yang dipancarkan matahari ke bumi adalah  $1,5 \times 10^{16}$  watt. Berapa massa materi yang diproses di matahari untuk menyinari bumi dalam satu hari?

## 6. Momentum Relativistik

Analog persamaan momentum ( $p$ ) suatu benda bermassa  $m$  yang bergerak dengan laju  $v$ , yaitu  $p=mv$ , persamaan momentum relativistik untuk benda bermassa relativistik  $m=\gamma m_0$  adalah:

$$P=mv=\gamma m_0 v$$

Dalam pembahasan relativistik, momentum relativistik sering dinyatakan sebagai:

$$P = mc$$



$$P = \gamma m_0 c$$

Hubungan antara energi relativistik ( $E$ ), energi diam ( $E_0$ ), dan momentum relativistik ( $p$ ) adalah:

$$E^2 = E_0^2 + p^2 c^2$$

### Contoh soal

Hitung momentum sebuah electron yang kelajuannya  $v = 0,6c$  (massa electron  $9 \times 10^{-31}$  kg;  $c = 3 \times 10^8$ )

#### Pembahasan:

dik :  $v = 0,6c$   
 $m = 9 \times 10^{-31}$  kg  
 $c = 3 \times 10^8$   
dit :  $P = \dots?$

Jwb :

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,6c}{c}\right)^2}} = 0,8$$

$$P = \gamma \cdot m_0 \cdot v$$

$$P = 0,8 \times 9 \times 10^{-31} \times 0,6c$$

$$P = 0,8 \times 9 \times 10^{-31} \times 0,6(3 \times 10^8)$$

$$P = 12,96 \times 10^{-23} \text{ kg m/s}$$

### Latihan!

Hitung momentum sebuah electron yang kelajuannya  $v = 0,5\sqrt{3}c$  (massa electron  $9 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ;  $c = 3 \times 10^8$ )

## RANGKUMAN

1. Transformasi Galileo berlaku pada suatu kerangka acuan inersial, yaitu kerangka acuan yang berada dalam keadaan diam atau bergerak terhadap kerangka acuan lainnya dengan kecepatan konstan pada suatu lintasan garis lurus.

Transformasi Galileo dalam sumbu x adalah:

$$x' = x - v \cdot t$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

2. Transformasi Lorentz digunakan untuk permasalahan yang menyangkut kecepatan benda yang mendekati kecepatan cahaya.

Transformasi Lorentz dalam sumbu x adalah:

$$x' = \gamma(x - vt)$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \gamma\left(t - \frac{v}{c^2}x\right)$$

3. Hasil Percobaan Michelson-Morley:

- a. Hipotesis tentang eter tidak benar, ternyata eter tidak ada.
- b. Kecepatan cahaya adalah besaran mutlak, tidak bergantung pada kerangka acuan inersial.

4. Postulat Einstein dalam teori relativitas khusus:

- a. Semua hukum fisika memiliki bentuk yang sama pada semua kerangka acuan inersial.
- b. Kelajuan cahaya di ruang hampa kesegala arah adalah sama untuk semua pengamat, tidak bergantung pada gerak sumber cahaya maupun pengamat.

5. Relativistik Kecepatan:

$$u_x = \frac{u_x' + v}{1 + \frac{u_x' v}{c^2}}$$

6. Relativitas Panjang:

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

7. Dilatasi Waktu:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

8. Relativitas Massa:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

9. Relativitas Energi:

$$E_k = \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) m_0 \cdot c^2$$

## 10. Relativistik Momentum

$$P = \gamma m_0 v$$

## EVALUASI

Pilihlah jawaban a, b, c, d atau e yang paling tepat!

- Salah satu sifat transformasi Galileo yang bertentangan dengan transformasi Lorentz adalah ....
  - Berlaku pada sembarang kelajuan
  - Adanya transformasi percepatan
  - Laju cahaya  $c = 3 \times 10^8$  m/s
  - Waktu bersifat absolute
  - Waktu bersifat relative
- Alat yang digunakan Michelson dan Morley dalam percobaan untuk mendeteksi adanya eter sebagai medium perambatan gelombang cahaya adalah ....
  - Detector
  - Simulator
  - Reflector
  - Spectrometer
  - Interferometer
- Eksperimen Michelson-Morley membuktikan bahwa ....
  - Eter tidak ada



- B. Cahaya tak dapat dibelokkan
  - C. Eter mengalir dengan laju konstan
  - D. Cahaya merambat dalam ruang hampa
  - E. Bumi merupakan kerangka acuan universal
4. Sebuah roket bergerak dengan kecepatan  $0,8c$ . Jika dilihat oleh pengamat yang diam, panjang roket itu akan menyusut sebesar ....
- A. 20%
  - B. 36%
  - C. 40%
  - D. 60%
  - E. 80%
5. Salah satu postulat relativitas Einstein adalah ....
- A. Selang waktu pengamat yang diam dan selang waktu pengamat yang bergerak tidak sama
  - B. Panjang benda saat diam dan panjang benda saat bergerak tidak sama
  - C. Massa benda saat diam dan massa benda saat bergerak tidak sama
  - D. Kecepatan cahaya dalam vakum adalah sama untuk semua pengamat baik diam maupun bergerak
  - E. Semua gerakan benda diatas permukaan Bumi memiliki kecepatan mutlak
6. Sebuah pesawat bergerak dengan kecepatan  $0,6c$  terhadap pelajar yang diam di Bumi. Dari pesawat ditembakkan peluru dengan kecepatan  $0,4c$  searah dengan gerak pesawat. Kecepatan peluru terhadap Bumi adalah ....
- A.  $0,2c$
  - B.  $0,5c$
  - C.  $0,6c$
  - D.  $0,8c$
  - E. C

7. Periode sebuah bandul di muka bumi adalah 3 s. Jika bandul itu diamati oleh seseorang yang bergerak relative terhadap bumi dengan kecepatan  $0,95c$ , periode bandul itu menjadi ....
- A. 0,5 s
  - B. 1,5 s
  - C. 9,6 s
  - D. 15 s
  - E. 300 s
8. Andro mengendarai pesawat dengan kelajuan  $0,8c$ . waktu 1 jam bagi andro, bagi andri yang berada diam di bumi teramati sebagai ....
- A. 0,65 jam
  - B. 1,67 jam
  - C. 1,87 jam
  - D. 2,90 jam
  - E. 3 jam
9. Sebuah pesawat antariksa yang diam di Bumi memiliki massa 8.000 kg. Jika melaju dengan kecepatan  $0,77c$ , massa relativistic pesawat itu adalah ....
- A. 10.500 kg
  - B. 11.000 kg
  - C. 12.000 kg
  - D. 12.500 kg
  - E. 14.000 kg
10. Andaikan sepasang orang kembar berusia 25 tahun. Setelah belajar fisika di universitas, salah satunya ikut menumpang pesawat antariksa dengan kelajuan  $0,95c$  menjelajah angkasa selama 4 tahun menurut kru pesawat saat kembali kebumi, saudara kembarnya di bumi telah berusia ....

- A. 29 tahun
  - B. 30,2 tahun
  - C. 37,8 tahun
  - D. 38,3 tahun
  - E. 40,5 tahun
11. Saat diam, masa sebuah muon adalah  $1,9 \times 10^{-28}$  kg. jika muon itu melaju dengan kelajuan  $0,998c$ , massa relatifistiknya adalah ....
- A.  $2,7 \times 10^{-28}$  kg
  - B.  $2,9 \times 10^{-27}$  kg
  - C.  $3,0 \times 10^{-27}$  kg
  - D.  $4,9 \times 10^{-27}$  kg
  - E.  $3,9 \times 10^{-26}$  kg
12. Partikel yang saat diam memiliki massa  $m_0$ , bergerak dengan kecepatan  $0,6c$ . Berdasarkan teori relativitas khusus, massa partikel selama bergerak itu adalah ....
- A.  $0,4m_0$
  - B.  $0,6m_0$
  - C.  $0,8m_0$
  - D.  $1,25m_0$
  - E.  $1,66m_0$
13. Agar massanya menjadi 1,25 kali massa diamnya, benda harus digerakkan dengan kelajuan ....
- A.  $1,25c$
  - B.  $c$
  - C.  $0,8c$
  - D.  $0,6c$
  - E.  $0,5c$

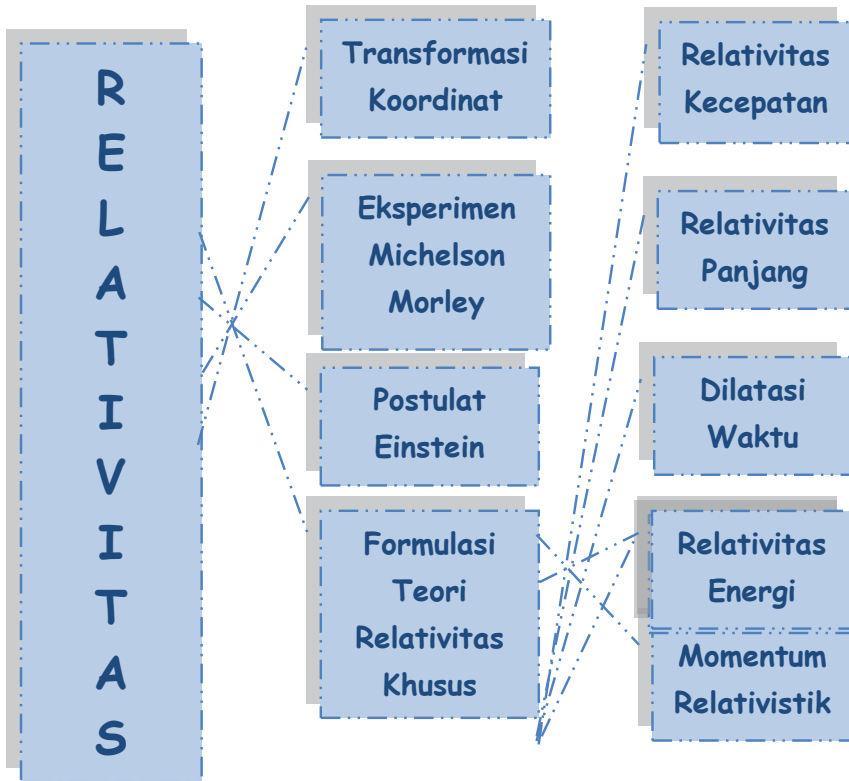
14. Jika laju sebuah partikel  $0,56c$ , rasio massa relativistic partikel itu terhadap massa diamnya adalah ....
- A.  $5 : 3$
  - B.  $25 : 9$
  - C.  $5 : 4$
  - D.  $25 : 4$
  - E.  $8 : 5$
15. Cut mulia dan cut mutia adalah sepasang anak kembar. A berkelana diantariksa dengan pesawat berkecepatan  $0,8c$ . setelah 12 tahun berkelana, cut mulia pulang kebumi. Menurut cut mutia, perjalanan cut mulia telah berlangsung selama ....
- A. 8 tahun
  - B. 10 tahun
  - C. 12 tahun
  - D. 15 tahun
  - E. 20 tahun
16. Agar massa benda menjadi dua kali massa diamnya, maka benda harus bergerak dengan kecepatan ....
- A.  $\frac{1}{2}c$
  - B.  $\frac{1}{2}c\sqrt{3}$
  - C.  $c$
  - D.  $2c$
  - E.  $2,5c$
17. Kecepatan suatu benda yang massanya 1 % lebih besar daripada massa diamnya adalah ....
- A.  $0,14c$
  - B.  $0,22c$
  - C.  $0,36c$

- D.  $0,42c$
- E.  $0,64c$
18. Didalam sebuah laboratorium sekelompok pelajar mengamati energi diam sebuah electron  $0,5 \text{ MeV}$  dan massa electron 5 kali massa diamnya. Energi kinetik electron tersebut adalah ....
- A.  $0,5 \text{ MeV}$
- B.  $1,0 \text{ MeV}$
- C.  $1,5 \text{ MeV}$
- D.  $2,0 \text{ MeV}$
- E.  $2,5 \text{ MeV}$
19. Setiap detik dimatahari terjadi perubahan  $4 \times 10^9 \text{ kg}$  materi menjadi radiasi. Jika kecepatan cahaya dalam vakum adalah  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ , maka daya yang dipancarkan oleh matahari adalah ....
- A.  $5,0 \times 10^{10} \text{ watt}$
- B.  $1,2 \times 10^{18} \text{ watt}$
- C.  $3,6 \times 10^{26} \text{ watt}$
- D.  $4,8 \times 10^{27} \text{ watt}$
- E.  $3,6 \times 10^{30} \text{ watt}$
20. Seorang mahasiswa mengamati suatu partikel yang memiliki energi diam  $E_0$  sedang bergerak dengan kecepatan  $0,8c$ , maka perbandingan antara energi total dan energi diamnya adalah ....
- A.  $\frac{3}{5}$
- B.  $\frac{5}{3}$
- C.  $\frac{3}{4}$
- D.  $\frac{4}{3}$
- E.  $\frac{7}{9}$

### Kompetensi Dasar:

Memformulasikan teori relativitas khusus untuk waktu, panjang, dan massa, serta kesetaraan massa dengan energi yang diterapkan dalam teknologi.

### Peta Konsep :

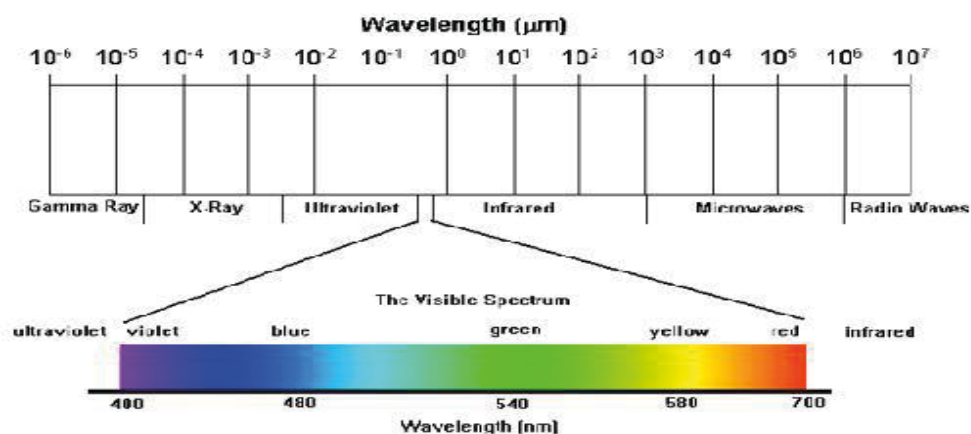




# PENGANTAR FISIKA KUANTUM

## A. GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK (GEM)

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dapat merambat tanpa memerlukan medium dan merupakan gelombang transversal. Berikut merupakan gambar dari spektrum gelombang elektromagnetik:



Gambar 1. spektrum gelombang elektromagnetik

Urutan gelombang elektromagnetik adalah sebagai berikut:

Gelombang radio  
Gelombang mikro  
Sinar inframerah  
Cahaya tampak  
Ultraviolet  
Sinar X  
-  
Sinar gama ( $\gamma$ )

$f$  (membesar)

$\lambda$  (mengecil)



Sifat-sifat GEM:

1. Dipengaruhi medan listrik dan medan magnet
2. Dapat merambat di ruang hampa (tanpa zat perantara)
3. Max Well

Cepat rambat gelombang tergantung pada permitivitas listrik ( $\epsilon$ ) dan permeabilitas magnet ( $\mu$ ). Dengan kecepatan cahaya sebesar  $c = 3 \times 10^8$  m/s. kecepatan cahaya konstan dengan medium udara, namun jika melewati medium akan berbeda.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0}} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

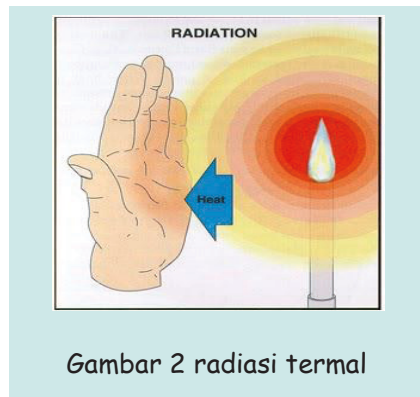
$\mu_0$  = permeabilitas magnet  
 $\epsilon_0$  = permittivitas listrik

$$\lambda \cdot f = c$$

$\lambda$  = panjang gelombang (m)  
 $f$  = frekuensi (Hz)  
 $c$  = kecepatan cahaya (m/s)

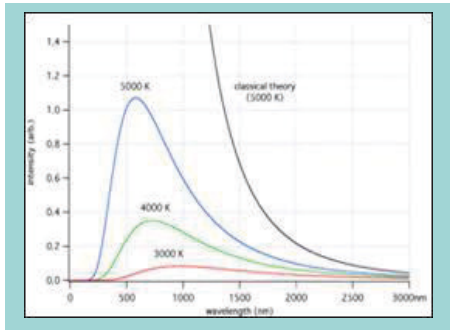
## B. RADIASI BENDA HITAM

Fisika klasik (mekanika Newton dan elektromagnetika klasik) mulai disangsikan keakuratannya ketika gagal menjelaskan sifat-sifat radiasi termal dan gejala-gejala subatomik. Seperti pada gambar disamping yang menunjukkan terjadinya radiasi.



**Radiasi termal** adalah pemancaran gelombang elektromagnetik oleh suatu benda terjadi hanya karena suhu. Makin tinggi suhu benda, makin banyak tenaga yang dipancarkan dalam bentuk radiasi.

1. **Teori Planck** : Energi gelombang elektromagnetik dipancarkan dan diserap oleh bahan dalam bentuk satuan-satuan energi yang disebut foton. Planck juga menyatakan bahwa *kunci utama pemahaman radiasi benda hitam adalah energi dipancarkan atau diserap dalam bentuk paket (kuanta), sehingga energi bersifat diskrit (tidak kontinu).*



gambar disamping merupakan spektrum radiasi kalor pada berbagai panjang gelombang berdasarkan perhitungan planck.

Energi (E) foton dirumuskan dengan:

$$E = hf$$

E = energi foton

h = tetapan planck ( $6,63 \times 10^{-34}$  J.s)

f = frekuensi foton (Hz)

kemudian, cahaya merupakan gelombang elektromagnetik yang merambat dengan laju c, foton juga merambat dengan laju c. dengan demikian, foton yang memiliki panjang gelombang  $\lambda$  akan memiliki energi sebesar:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

E = energi foton

h = tetapan planck ( $6,63 \times 10^{-34}$  J.s)

$\lambda$  = panjang gelombang (m)

c = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s)

Selanjutnya, menurut teori kuantum energi molekul yang berhasil merupakan kelipatan energi yang dimiliki tiap foton. Dirumuskan sebagai berikut:  $E = n \cdot h \cdot f$

E = energi foton

n = bilangan cacah (1;2;3;.... dan seterusnya)

h = tetapan planck ( $6,63 \times 10^{-34}$  J.s)

f = frekuensi foton (Hz)

### Contoh soal

1. Sebuah pemancar radio memancarkan gelombang berfrekuensi 95 MHz. hitunglah energi tiap foton dari gelombang tersebut!

Jawab:

Dik: f = 95 MHz =  $9,5 \times 10^7$  Hz

h =  $6,63 \times 10^{-34}$  Js

dit: E = .....?

jawab: E = hf

$$= (6,63 \times 10^{-34}) (9,5 \times 10^7)$$

$$= 6,3 \times 10^{-26} \text{ J}$$

2. **Hukum Stefan-Boltzmann** : Energi radiasi yang dipancarkan oleh suatu permukaan benda hitam sebanding dengan luas permukaannya serta pangkat empat suhu mutlaknya.

Dirumuskan:

$$W = A e \sigma T^4$$

I = intensitas radiasi Watt/m<sup>2</sup>

A = luas permukaan

e = emitivitas permukaan benda antara 0-1

σ = tetapan stefan-boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup> . K<sup>4</sup>)

T = suhu mutlak permukaan dalam kelvin (K)

Benda dengan nilai e = 1 disebut benda hitam sempurna.

Benda hitam sempurna adalah benda yang dapat menyerap semua cahaya yang datang dan dapat memancarkan energi cahaya dengan sempurna.



Gambar 3 contoh dari radiasi benda hitam

Kemudian jika luas permukaan benda =  $A$ , maka selama  $t$  detik energi yang dipancarkan benda dirumuskan :  $I = \frac{P}{A} = \frac{W}{A \cdot t} =$

$$\frac{W}{A \cdot t} \rightarrow W = I \cdot A \cdot t$$

Jadi:

$$W = (e \cdot \sigma \cdot T^4) A \cdot t$$

$W$  = energi yang dipancarkan (J)

$A$  = luas permukaan ( $m^2$ )

$t$  = waktu (s)

### Contoh Soal

2. Luas permukaan nikelin bersuhu 1.600 K adalah  $1 \text{ cm}^2$ . Jika nikelin itu dianggap sebagai benda hitam sempurna ( $e = 1$ ), berapakah daya radiasi kalor yang dipancarkan?

Dik:  $e = 1$

$$A = 1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$T = 1.600 \text{ K}$$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

Dit:  $P = \dots\dots\dots?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab: } P &= A e \sigma T^4 \\ &= (10^{-4})(1)(5,67 \times 10^{-8})(1.600)^4 \\ &= 37,16 \text{ watt} \end{aligned}$$

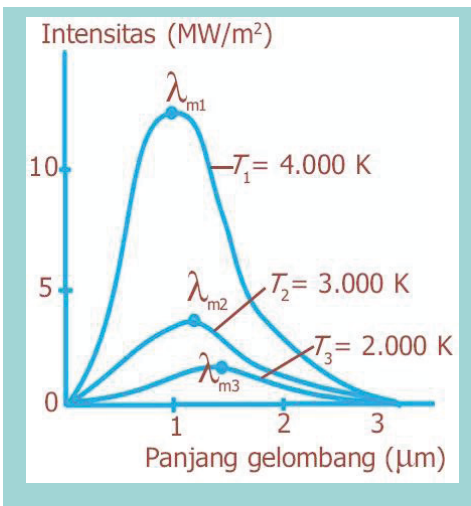
3. **Hukum Pergeseran Wien** : panjang gelombang yang dimiliki oleh komponen radiasi dengan intensitas paling tinggi berbanding terbalik dengan suhu.

Dirumuskan:  $\lambda_m = \frac{C}{T}$

$\lambda_m$  = panjang gelombang maksimum (m)

T = suhu mutlak (K)

C = konstanta Wien ( $2,898 \times 10^{-3}$  m.K)



Gambar disamping merupakan spektrum radiasi benda hitam yang diselidiki oleh Wien. Menurut Wien, jika dipanaskan terus, benda hitam akan memancarkan radiasi kalor yang puncak spektrumnya memberikan warna-warna tertentu. Warna spektrum bergantung pada panjang gelombangnya, dan panjang gelombang ini akan bergeser sesuai suhu benda.

Perhitungan energi radiasi Wien berlaku untuk gelombang pendek.

#### Contoh soal

3. Sebuah benda suhunya  $70^\circ\text{C}$ . berapakah panjang gelombang yang dipancarkan saat energi radiasinya maksimum?

Dik:  $T = (70 + 273) = 343 \text{ K}$

$C = 2,90 \times 10^{-3} \text{ m.K}$

Dit:  $\lambda = \dots?$

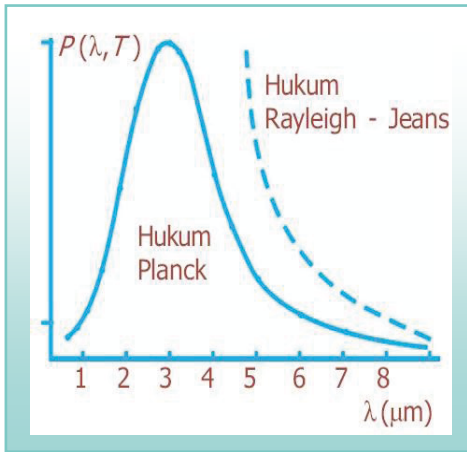
Jawab:  $\lambda_m T = C$   
 $\lambda_m = C/T$   
 $= 2,90 \times 10^{-3} / 343$   
 $= 8,5 \times 10^{-6} \text{ m}$

#### 4. Menurut fisika klasik (Rayleigh-Jeans)

Benda hitam dipandang sebagai kumpulan getaran gelombang elektromagnetik yang berada pada keseimbangan panas dengan lingkungannya. Secara klasik masing-masing getaran mempunyai tenaga sebesar  $\frac{1}{2} kT$ ,

sehingga :

$$I\lambda^{RJ} = \frac{2\pi c k T}{\lambda^4}$$

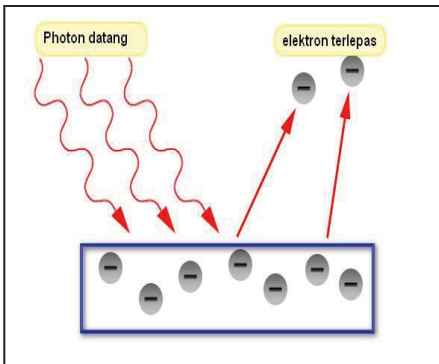


Pada gambar disamping terlihat teori Wein dapat menerangkan spektrum panjang gelombang yang pendek namun menyimpang pada panjang gelombang yang panjang. Sebaliknya, Rayleigh-Jeans dapat menerangkan spektrum panjang gelombang yang panjang namun menyimpang pada panjang gelombang yang pendek.

#### Latihan!

1. Jelaskan yang dimaksud dengan energi radiasi benda!
2. Jika suhu permukaan matahari  $5527^{\circ}\text{C}$ . konstanta Wien  $c = 2,9 \times 10^{-3} \text{ m.K}$ . hitunglah panjang gelombang cahaya matahari yang membawa energi maksimum, nyatakan dalam nanometer (nm)!
3. Andaikan 5,5% energi lampu pijar dipancarkan sebagai sinar terlihat yang panjang gelombangnya sama ialah  $5400\text{\AA}$ . Jika konstanta Planck  $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ Js}$ . Jumlah foton yang dipancarkan lampu pijar 100 W per detik adalah....

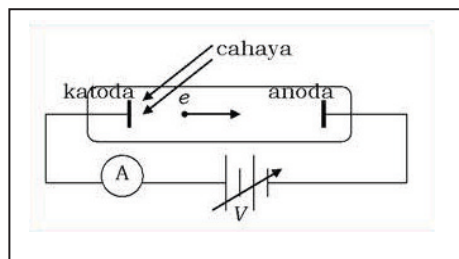
### C. Efek Fotolistrik

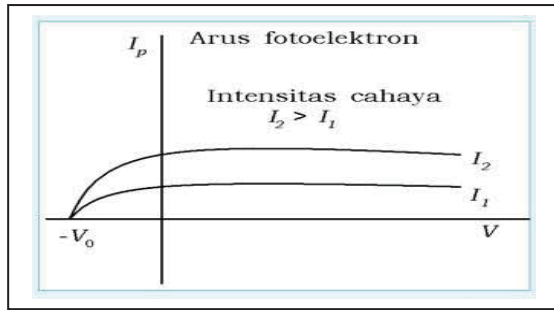


Efek fotolistrik merupakan hasil eksperimen klasik yang menunjukkan sifat kuantisasi cahaya . ketika cahaya monokromatik dijatuhkan pada sebuah logam dalam ruang hampa, electron dapat terlepas dari permukaan logam ketika disinari cahaya atau gelombang elektromagnetik lain disebut efek **fotolistrik**.elektron yang lepas dari logam akibat efek fotolistrik disebut **fotoelektron**.

Tidak ada elektron yang dilepaskan oleh radiasi di bawah frekuensi ambang, karena elektron tidak mendapatkan energi yang cukup untuk mengatasi ikatan atom. Gambar di bawah ini menunjukkan skema proses efek fotolistrik dimana jika cahaya menumbuk katoda dan electron akan dibebaskan / fotoelectron akan tercatat sebagai aliran arus dalam suatu rangkaian dan dapat terbaca pada ammeter.

Jika cahaya monokromatik dijatuhkan pada katoda maka grafik hubungan antara arus fotoelektron dan beda potensial adalah seperti gambar disamping:





Secara klasik, arus berbanding lurus dengan intensitas cahaya datang, semakin besar intensitas cahaya maka semakin banyak electron yang dilepaskan. Bila kemudian beda potensial diturunkan sehingga pada tegangan  $V_0$  tidak ada arus yang mengalir, maka tegangan  $V_0$  disebut potensial penghenti dan besarnya energy kinetic maksimum electron adalah

$$\left(\frac{1}{2} mv^2\right)_{max} = E_{max} = eV_0$$

Dari percobaan efek fotolistrik yang disimpulkan Enstein disimpulkan sebagai

$$h\nu = E_{kmax} + \Phi$$

Dimana  $\nu$  frekuensi cahaya yang dijatuhkan pada katoda, dan  $\Phi$  adalah fungsi kerja target yaitu energy ikat dari atom target. Bila persamaa diatas dimasuka maka diperoleh:

$$h\nu = eV_0 + \Phi$$

$$\Rightarrow V_0 = \left(\frac{h}{e}\right)\nu - \frac{\phi_0}{e}$$

Bila  $\nu$  cahaya yang dijatuhkan divariasi maka  $V_0$  yang diperlukan juga berubah, maka dapat dikatakan energy kinetic electron yang sebanding dengan potensial penghenti tergantung pada frekuensi cahaya yang dijatuhkan.



Bila  $\nu_0$  disebut frekuensi ambang, maka  $\nu_0$  adalah frekuensi minimum dari cahaya yang dijatuhkan pada target sehingga target masih dapat melepas elektron tetapi tidak memiliki energi kinetik.

$$h\nu_0 = \phi_0$$

Sehingga

$$E_k = h(\nu - \nu_0)$$

Teori foton menyatakan bahwa semua foton memiliki energi yang sama ( $E = h\nu$ ) sehingga menaikkan intensitas cahaya berarti menambah jumlah foton, tetapi tidak menambah energi tiap foton selama frekuensinya tetap. Menurut Einstein semua energi foton diberikan kepada elektron sehingga fotonnya lenyap. Karena elektron terikat oleh energi ikat tertentu tertentu dalam logam, maka diperlukan kerja minimum yang disebut fungsi kerja atau energi ambang  $W_0$  untuk melepaskan elektron dari permukaan logam. Besarnya fungsi kerja  $W_0$  tergantung pada jenis logam. Apabila frekuensi cahaya  $f$  sedemikian rupa sehingga  $hf \leq W_0$ , maka elektron tidak akan terlepas. Sedangkan, jika  $hf > W_0$  maka elektron akan terlepas dari permukaan logam dengan energi kinetik maksimum yang memenuhi persamaan

$$E_{K_m} = h\nu - W_0 = hc/\lambda - W_0$$

Berdasarkan uraian diatas dapat disimpulkan bahwa efek fotolistrik dapat dijelaskan menurut teori foton sebagai berikut.

1. Kenaikan intensitas cahaya menyebabkan bertambahnya jumlah elektron yang terlepas, tetapi karena energi elektron tidak berubah, maka energi kinetik maksimum elektron foto juga tidak berubah.
2. Kenaikan frekuensi cahaya akan meningkatkan energi kinetik elektron foto yang memenuhi hubungan  $E_{K_m} = h\nu - W_0$ .

3. Jika frekuensi cahaya lebih kecil dari frekuensi ambang  $f_0$  maka tidak ada elektron yang terlepas dari permukaan logam. Berapapun besarnya intensitas cahaya yang digunakan.

Elektron terlepas dari permukaan logam sesaat setelah penyinaran karena cahaya bersifat partikel (paket energi) sehingga terjadi transfer energi spontan dari foton ke elektron dengan interaksi satu-satu.

### Contoh soal

Sebuah logam mempunyai frekuensi ambang  $4 \times 10^{14}$  Hz. Jika logam tersebut dijatuhkan foton ternyata fotoelektron yang dari permukaan logam memiliki energi kinetik maksimum sebesar  $19,86 \times 10^{-20}$  J. Hitunglah frekuensi foton tersebut.

Diketahui:  $h = 6,6 \times 10^{-34}$

$$E_k = 19,86 \times 10^{-20}$$

$$u_0 = 4 \times 10^{14}$$

Ditanya :  $u$ ..?

Jawab :  $W_0 = hu_0$

$$= (6,6 \times 10^{-34}) (4 \times 10^{14})$$

$$= 26,48 \times 10^{-20} \text{ J}$$

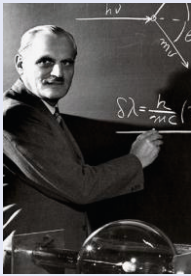
$$E = E_k + W_0 = hu$$

$$u = (E_k + W_0) / h$$

$$= (19,86 \times 10^{-20} + 26,48 \times 10^{-20}) / 6,6 \times 10^{-34}$$

$$= 7 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

## D. Efek Compton



**Arthur Holly** 1962) - Arthur H. Compton adalah ahli fisika Amerika Serikat, penemu efek Compton, penemu istilah foton, doktor, pengarang, guru besar, direktur Metallurgical Atomic Project dan ikut membuat bom atom.

Bersama Charles T.R. Wilson pada tahun 1927 Compton mendapat Hadiah Nobel untuk fisika karena menemukan **efek Compton**.

Pada tahun 1923 seorang fisikawan Amerika yang bernama Arthur H. Compton (1892-1962) menjelaskan fenomena yang diamati pada hamburan sinar-X dari karbon (grafit) dengan memperhatikan radiasi yang mencakup sifat kuantisasi energi. Hasil eksperimen memberikan suatu bukti bahwa cahaya sebagai gelombang elektromagnetik yang terdiri dari energi yang terkuantisasi, sehingga cahaya tetap dilihat sebagai partikel. Dengan kata lain cahaya mempunyai sifat dualisme.

Hasil pengamatan yang ditunjukkan oleh Compton, jika berkas sinar-X monokromatik dikenakan pada grafit, maka sinar hamburannya mempunyai panjang gelombang yang lebih besar daripada berkas sinar yang datang. Perubahan panjang gelombang juga ditentukan oleh sudut dari berkas sinar-X yang datang, hubungan antara panjang gelombang antara sinar datang dan sinar hambur dinyatakan sebagai

$$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_0 = \lambda_c (1 - \cos \theta)$$

Dimana  $\lambda_0$  adalah panjang gelombang berkas sinar datang,  $\lambda_1$  adalah panjang gelombang berkas sinar hambur, dan  $\lambda_c$  adalah panjang gelombang Compton yang besarnya

$$\lambda_c = \frac{h}{m_e c} = 2,43 \times 10^{-12} \text{ m} = 2,43 \times 10^{-3} \text{ nm}$$

dengan :

$\Delta\lambda$  = pergeseran panjang gelombang foton (m)

$\lambda_1$  = panjang gelombang foton datang (m)

$\lambda_0$  = panjang gelombang foton hambur (m)

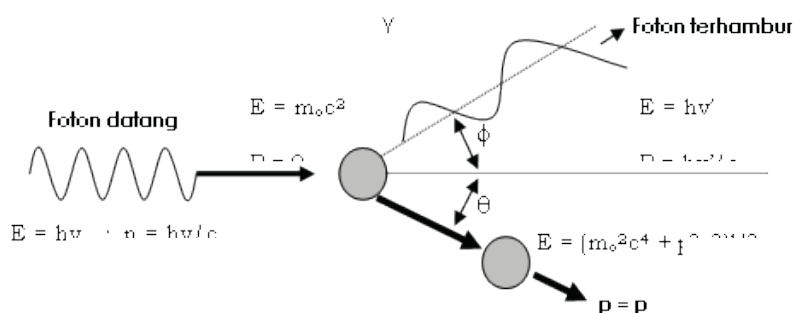
$\lambda_c$  = panjang gelombang Compton (m)

$m_e$  = massa diam electron =  $9,1 \times 10^{-31}$  kg

$\theta$  = sudut hamburan

Hal ini bertentangan dengan teori klasik, dimana frekuensi atau panjang gelombang berkas sinar yang dihamburkan sama dengan frekuensi atau panjang gelombang berkas sinar datang. Artinya bahwa electron-elektron dalam atom menyerap energy radiasi dan beresilasi pada frekuensi yang sama dengan frekuensi yang datang, sehingga saat energy dipancarkan kembali mempunyai frekuensi sama pada semua arah.

Efek Compton dijelaskan oleh Enstein bahwa energy foton yang datang sebesar  $h\nu$ , perubahan panjang gelombang yang diamati oleh Compton menunjukan adanya perubahan energy foton. Disini energy foton hambur lebih kecil daripada energy foton yang datang. Efek dari sudut hamburan merupakan bentuk tumbukaan partikel yang bersifat elastis. Compton memberikangambaran bahwa jika berkas sinar yang datang diperlakukan sebagai partikel yang menumbuk electron diam sehingga kehilangan energy foton dan momentum setelah tumbukan dengan electron, energy tersebut diberikan ke electron. Karena dalam tumbukan elastis berlaku hukum kekekalan energi dan momentum.



Berapakah momentum foton? Compton menurunkan momentum foton dari teori relativitas khusus Einstein dan hasilnya adalah:

$$p = \frac{hv}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

dengan  $p$ =momentum foton.

Sebuah foton dapat bertumbukan dengan sebuah partikel yang memiliki massa, seperti sebuah electron. Jika hal itu terjadi foton yang terhambur dapat memiliki energy dan momentum baru. Jika sebuah foton dengan panjang gelombang awal  $\lambda_i$  bertumbukan dengan electron diam dengan massa  $m_e$  yang bebas, dan dihamburkan dengan sudut  $\theta$ , maka panjang gelombang foton yang terhambur meningkat menjadi  $\lambda_s$ , dimana

$$\lambda_s = \lambda_i + \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$$

Perubahan panjang gelombang sangat kecil kecuali untuk radiasi berenergi tinggi seperti sinar - X atau sinar  $\gamma$ .

### Contoh soal

1. Berkas sinar monokromatik dari sumber sinar - X dengan panjang gelombang  $1,35 \times 10^{-10} \text{ m}$  dajatuhkan pada sebuah logam tipis. Berapa persen pergeseran panjang gelombang untuk sinar hambur bila sinar terhambur pada sudut  $45^\circ$ ?  
Diketahui:  $\lambda_0 = 1,35 \times 10^{-10} \text{ m}$ ,  $\theta = 45^\circ$

Ditanya: Pergeseran panjang gelombang (%)?

Jawab: Perubahan atau pergeseran  $\Delta\lambda$ , diberikan oleh persamaan  $\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_0 = \lambda_c(1 - \cos \theta)$ , dan fraksi perubahannya  $\Delta\lambda/\lambda_0$

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_1} = \frac{\lambda_c}{\lambda_0} (1 - \cos \theta)$$

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_1} = \frac{2,43 \times 10^{-12} \text{ m}}{1,35 \times 10^{-10} \text{ m}} (1 - \cos 45^\circ) \times 100 \%$$

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_1} = 1,8 \times 10^{-2} (1 - 0,71) \times 100\% = 2,09\%$$

2. Tentukan momentum foton yang panjang gelombangnya 600nm?

Diketahui:  $\lambda = 600 \text{ nm} = 600 \times 10^{-9} \text{ m}$ ,  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ Js}$

Momentum foton adalah:

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \text{ Js}}{600 \times 10^{-9} \text{ m}} = 1,11 \times 10^{-27} \text{ Ns}$$

## EVALUASI

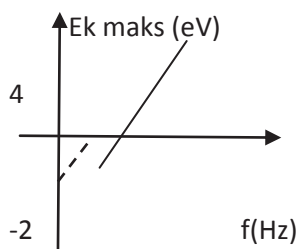
### I. Pilihlah jawaban a, b, c, d atau e yang paling tepat!

1. Faktor yang mempengaruhi besar energi termal suatu benda adalah..
  - a. Suhu mutlak benda
  - b. Suhu lingkungan
  - c. Massa jenis benda
  - d. Warna benda
  - e. Massa benda
2. Warna spektrum radiasi bergantung pada panjang gelombangnya. Warna spektrum berikut ini yang paling rendah suhunya adalah..
  - a. Merah
  - b. Hijau
  - c. kuning
  - d. Biru
  - e. Ungu
3. Frekuensi foton cahaya yang memiliki energi 3,2 eV adalah....
  - a.  $5,8 \times 10^{14} \text{ Hz}$
  - b.  $7,0 \times 10^{14} \text{ Hz}$
  - c.  $6,7 \times 10^{14} \text{ Hz}$
  - d.  $5,7 \times 10^{14} \text{ Hz}$
  - e.  $7,7 \times 10^{14} \text{ Hz}$
4. Perbandingan kuantitas energi yang terkandung dalam sinar dengan

- panjang gelombang 6000 Å dan sinar dengan panjang gelombang 4000 Å adalah....
- 2 : 3
  - 3 : 2
  - 4 : 3
  - 3 : 4
  - 1 : 2
5. Gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 300 Å dijatuhkan pada permukaan logam yang memiliki fungsi kerja  $3,3 \times 10^{-19}$  J. besar energi kinetik maksimum dari elektron yang keluar dari permukaan logam adalah... (UNAS 2006)
- $2,2 \times 10^{-19}$  J
  - $4,4 \times 10^{-19}$  J
  - $6,6 \times 10^{-19}$  J
  - $3,3 \times 10^{-19}$  J
  - $5,5 \times 10^{-19}$  J
6. Dalam tabung sinar X berkas elektrondipercepat oleh benda potensial  $5 \times 10^4$  volt, dihentikan seketika oleh anoda, sehingga semua energi elektron menjadi gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang dalam daerah sinar X. Jika konstanta planck =  $6,62 \times 10^{-34}$  Js,  $c = 3 \times 10^8$  m/s dan muatan elektron  $1,6 \times 10^{-19}$  C, maka panjang gelombang sinar yang terjadi adalah... (dalam Å)
- 0,05
  - 0,15
  - 0,125
  - 0,25
  - 0,5
7. Intensitas radiasi yang diterima pada dinding dari tungku pemanas ruangan adalah  $66,3 \text{ W.m}^{-2}$ . Jika tungku ruangan dianggap benda hitam dan radiasi gelombang elektromagnetik pada panjang gelombang 600 nm, maka jumlah foton yang mengenai dinding persatuan luas persatuan waktu adalah .... (UN Fisika SMA 2010) ( $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J.s,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ )
- $1 \times 10^{19}$  foton
  - $2 \times 10^{19}$  foton
  - $2 \times 10^{20}$  foton
  - $5 \times 10^{20}$  foton
  - $5 \times 10^{21}$  foton
8. Sebuah keping logam yang mempunyai energi ambang 2 ev disinari dengan cahaya

monokromatis dengan panjang gelombang 6000 Å hingga elektron meninggalkan permukaan logam. Jika  $h = 6,6 \times 10^{-34}$  Js dan kecepatan cahaya  $3 \times 10^8$  m/detik, maka energi kinetik elektron yang lepas....

- $0,1 \times 10^{-19}$  joule
  - $0,16 \times 10^{-19}$  joule
  - $1,6 \times 10^{-19}$  joule
  - $3,2 \times 10^{-19}$  joule
  - $19,8 \times 10^{-19}$  joule
9. Frekuensi ambang natrium adalah  $4,4 \times 10^{14}$  Hz. Besar potensial penghenti dalam volt bagi natrium saat disinari dengan cahaya yang frekuensinya  $6,0 \times 10^{14}$  Hz adalah...
- 0,34
  - 0,40
  - 0,44
  - 0,66
  - 0,99
10. Grafik dibawah ini menunjukkan data efek fotolistrik.

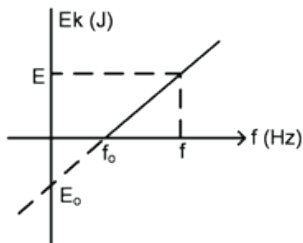


Jika diketahui konstanta planck =  $6,6 \times 10^{-34}$  Js dan  $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$  maka frekuensi ambangnya adalah.... (UNAS 2004)

- $0,24 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$
  - $0,48 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$
  - $1,6 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$
  - $2,1 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$
  - $4,8 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$
11. Elektron yang massanya  $9 \times 10^{-31} \text{ Kg}$  bergerak dengan panjang laju  $2,2 \times 10^7 \text{ m/s}$ . jika konstanta planck  $6,6 \times 10^{-34} \text{ Js}$ , maka panjang gelombang elektron itu adalah... (UNAS 2005)
- $2,6 \times 10^{-11} \text{ m}$
  - $3,3 \times 10^{-11} \text{ m}$
  - $4,0 \times 10^{-11} \text{ m}$
  - $3,0 \times 10^{-11} \text{ m}$
  - $3,6 \times 10^{-11} \text{ m}$
12. Dalam efek fotolistrik, energi kinetik fotoelektron.....
- Berbanding terbalik dengan amplitudo cahaya yang digunakan
  - Sebanding dengan frekuensi cahaya yang digunakan
  - Berbanding terbalik dengan frekuensi cahaya yang digunakan



- d. Sebanding dengan intensitas cahaya yang digunakan
- e. Berbanding terbalik dengan intensitas cahaya yang digunakan
13. Teknologi berikut ini yang menerapkan konsep efek fotolistrik adalah....
- Fotografi digital
  - Fotografi analog
  - Mikroskop elektron
  - Foto rontgen
  - Sel surya
14. Jika konstanta planck  $6,6 \times 10^{-34}$  Js maka besarnya momentum dan elektron yang panjang gelombangnya  $2 \times 10^{-2}$  m adalah.... (SPMB 2002)
- $13,2 \times 10^{-24}$  Ns
  - $8,6 \times 10^{-24}$  Ns
  - $4,6 \times 10^{-24}$  Ns
  - $3,3 \times 10^{-24}$  Ns
  - $2,2 \times 10^{-24}$  Ns
15. Perhatikan grafik efek fotolistrik di bawah ini!



Dari grafik disimpulkan:  
 (1) Bila frekuensi cahaya yang datang kurang dari  $f_0$

efek fotolistrik tidak akan terjadi

(2) Fungsi kerja logam

besarnya sama dengan  $E_0$

(3) Persamaan efek fotolistrik:  $E = h(f - f_0)$

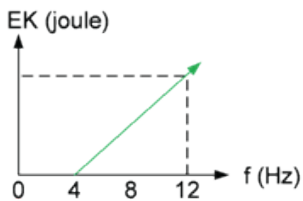
atau  $E = hf - E_0$

Kesimpulan yang benar adalah...

- (1) dan (2) saja
  - (1) dan (3) saja
  - (2) dan (3) saja
  - (3) saja
  - (1), (2), dan (3)
16. Bola lampu mempunyai spesifikasi 132 W/220 V, ketika dinyalakan pada sumber tegangan 110 V memancarkan cahaya dengan panjang gelombang 628 nm. Bila lampu meradiasikan secara seragam ke segala arah, maka jumlah foton yang tiba persatuan waktu persatuan luas di tempat yang berjarak 2,5 m dari lampu adalah ... (h =  $6,6 \cdot 10^{-34}$  Js)
- $5,33 \cdot 10^{18}$  foton.s  $m^{-2}$
  - $4,33 \cdot 10^{18}$  foton.s  $m^{-2}$
  - $3,33 \cdot 10^{18}$  foton.s  $m^{-2}$
  - $2,33 \cdot 10^{18}$  foton.s  $m^{-2}$
  - $1,33 \cdot 10^{18}$  foton.s  $m^{-2}$
17. Sebuah keping logam yang mempunyai energi

ambang 2 eV disinari dengan cahaya monokromatis dengan panjang gelombang 6000 Å hingga elektron meninggalkan permukaan logam. Jika  $h = 6,6 \times 10^{-34}$  Js dan kecepatan cahaya  $3 \times 10^8$  m/detik, maka energi kinetik elektron yang lepas....

- $0,1 \times 10^{-19}$  joule
  - $0,16 \times 10^{-19}$  joule
  - $1,6 \times 10^{-19}$  joule
  - $3,2 \times 10^{-19}$  joule
  - $19,8 \times 10^{-19}$  joule
18. Hubungan energi kinetik elektron dan frekuensi penyinaran pada gejala foto listrik terlihat pada grafik di bawah ini.



Apabila konstanta Planck  $h$ , besarnya fungsi kerja logam adalah ...

- 1 h
- 2 h

- 3 h
  - 4 h
  - 8 h
19. Cahaya dengan panjang gelombang 500 nm meradiasi permukaan logam yang fungsi kerjanya  $1,86 \times 10^{-19}$  joule. Energi kinetik maksimum foto elektron adalah ...
- $2 \times 10^{-19}$  joule
  - $4 \times 10^{-19}$  joule
  - $5 \times 10^{-19}$  joule
  - $6 \times 10^{-19}$  joule
  - $9 \times 10^{-19}$  joule
20. Pada foton yang terhambur baik setelah menabrak elektron, panjang gelombangnya.....

- Bertambah sebesar  $\frac{2h}{m_e c}$
- Berkurang sebesar  $\frac{h}{m_e c}$
- Bertambah sebesar  $\frac{h}{m_e c}$
- Berkurang sebesar  $\frac{2h}{m_e c}$
- Tidak berubah

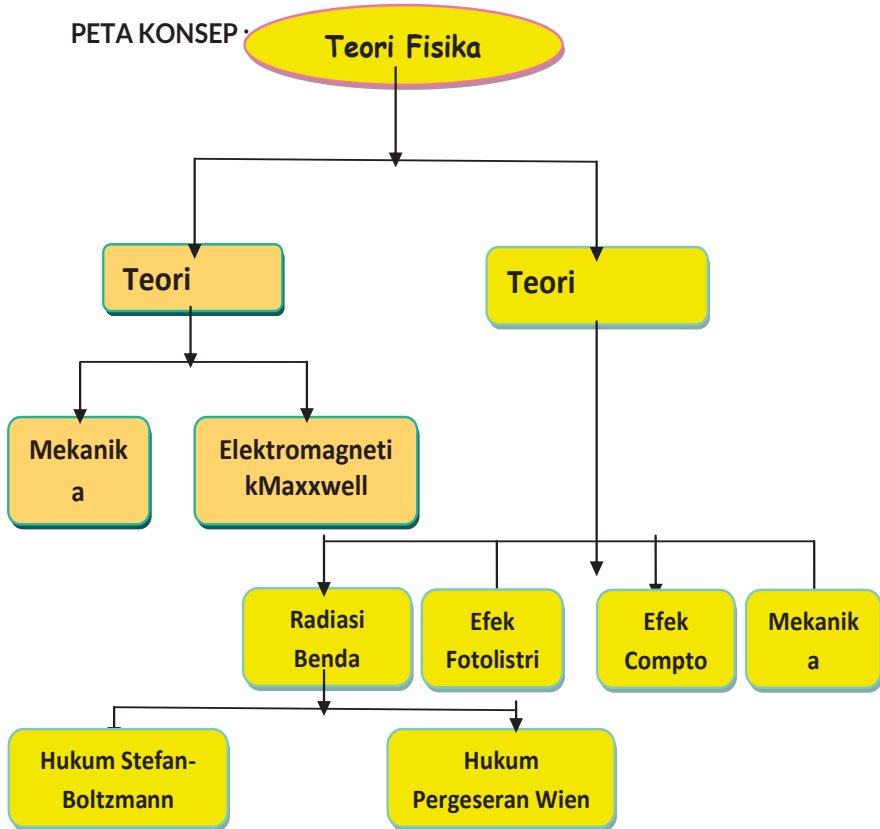
## II ESSAY!

1. Sebutkan ciri-ciri beserta contoh dari gelombang elektromagnetik!
2. Mengapa para peneliti harus diberi pelindung terhadap radiasi sinar-X yang dihasilkan oleh peralatan bertegangan tinggi?
3. Sebuah lampu halogen 60 W memancarkan gelombang dengan panjang gelombang 369 nm. Hitunglah jumlah foton yang dipancarkan lampu tersebut setiap sekonnya!
4. Energi sebuah foton adalah  $6,73 \times 10^{-19}$  J. berapakah panjang gelombangnya?
5. Jika tetapan planck  $6,6 \times 10^{-34}$  Js,  $c = 3 \times 10^8$  m/s dan gelombang cahaya  $6000 \text{ \AA}$ , maka energi foton cahaya itu adalah?
6. Jika panjang gelombang cahaya matahari yang membawa energi maksimum ialah 500 nm dan konstanta  $C = 2,9 \times 10^{-3}$  m.K, hitung suhu permukaan matahari!
7. Tentukan frekuensi sinar-X yang memiliki panjang gelombang 0,10 nm!
8. Logam sesium memiliki fungsi kerja 1.8 eV tentukanlah:
  - a. Panjang gelombang maksimum cahaya yang dapat dijatuhkan pada permukaan logam sesium tanpa mengeluarkan elektron dari permukaan.
  - b. Energi kinetik maksimum elektron yang keluar dari permukaan logam. Jika penyinaran permukaan logam menggunakan cahaya monokromatis dengan panjang gelombang  $4500 \text{ \AA}$ .
  - c. Potensial henti yang menahan keluarnya arus elektron.
9. Frekuensi ambang suatu logam sebesar  $8 \times 10^{14}$  hz dan logam tersebut disinari dengan cahaya yang memiliki frekuensi  $10^{15}$  hz. Jika tetapan planck  $6,6 \times 10^{-34}$  j. Tentukan energi kinetik elektron yang terlepas dari permukaan logam tersebut...
10. Jelaskan teori kuantum cahaya menurut planck!

### Kompetensi Dasar:

- menganalisis secara kualitatif gejala kuantum yang mencakup hakikat dan sifat-sifat radiasi benda hitam serta penerapannya

### PETA KONSEP:





# RADIOAKTIVITAS

**Radioaktivitas** merupakan peristiwa saat inti atom suatu unsur berubah menjadi inti atom baru dan terjadinya secara spontan disertai pancaran atau sinar tertentu.

1) Jenis sinar radioaktif ada 3, yaitu:

	Jenis sinar	Sifat – sifat sinar
1.	Sinar alfa ( $\alpha$ )	a. Bermuatan positif ( $+2$ ) b. Dibelokan oleh medan listrik maupun medan magnet c. Memiliki daya tembus yang paling rendah dibandingkan sinar beta maupun gamma
2.	Sinar beta ( $\beta$ )	a. Bermuatan negatif ( $-1$ ) b. Dibelokkan oleh medan listrik maupun medan magnet c. Daya tembusnya lebih besar dari sinar alfa, namun dibawah sinar gamma
3.	Sinar gamma ( $\gamma$ )	a. Sinar gamma tidak bermuatan b. Tidak dibelokkan oleh medan listrik maupun medan magnet c. Sinar gamma memiliki daya tembus yang paling kuat diantara ketiga sinar radioaktif yang ada

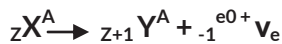
## 2) Rumus persamaan reaksi atom yang mengalami peluruhan

### a. Radiasi alfa (helium<sup>+</sup>)



### b. Radiasi beta (electron<sup>-</sup>)

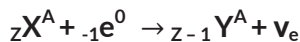
#### 1. Peluruhan beta negative ( $\beta^-$ )



#### 2. Pluruhan beta positif ( $\beta^+$ )



#### 3. Penangkapan elektron



### c. Radiasi Gamma (foton)



## 3) Interaksi sinar radioaktif dengan bahan

### a. Serapan atau pelemahan

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

**Keterangan :**

$I$  = intensitas radiasi melewati material ( $\text{w/m}^2$ )

$I_0$  = intensitas radiasi mula - mula ( $\text{w/m}^2$ )

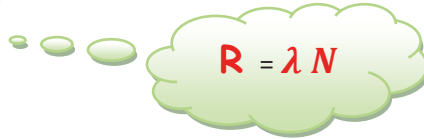
$e$  = 2,71828

$\mu$  = teori aenuasi/pelemahan ( $\text{m}^{-1}$ )

$x$  = tebal bahan (m)

#### 4) peluruhan radioaktif

##### a. Aktivitas radioaktif


$$R = \lambda N$$

Keterangan :

$R$  = aktivitas (peluruhan / s)

$\lambda$  = konstanta peluruhan

$N$  = jumlah inti

##### b. Peluruhan inti

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

Keterangan :

$N_t$  = jumlah inti setelah meluruh (inti)

$N_0$  = jumlah inti mula - mula (inti)

$e$  = bilangan natural = 2,71828

$\lambda$  = konstanta peluruhan (/s)

$t$  = waktu (s)

##### c. Waktu paruh

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{0,693}{\lambda}$$

##### d. Umur rata - rata

$$T_{\text{rata}} = 1,44 T_{\frac{1}{2}}$$



## 5) Deret radioaktif

Deret	Inti Induk	waktu paroh (tahun)	Rumus Peluruhan	Inti Stabil
Uranium	$({}^{238}_{92}\text{U})$	$4,47 \times 10^8$	$4n + 2$	$({}^{206}_{82}\text{Pb})$
Aktinium	$({}^{235}_{92}\text{U})$	$7,04 \times 10^8$	$4n + 3$	$({}^{207}_{82}\text{Pb})$
Thorium	$({}^{232}_{90}\text{U})$	$1,41 \times 10^{10}$	$4n$	$({}^{208}_{82}\text{Pb})$
Neptunium	$({}^{235}_{92}\text{U})$	$2,14 \times 10^6$	$4n + 1$	$({}^{209}_{83}\text{Bi})$

1. Suatu zat radioaktif meluruh dengan waktu paruh 20 hari. Agar zat radioaktif hanya tinggal  $1/8$  bagian saja dari jumlah asalnya, maka diperlukan waktu peluruhan ... hari.
2. Dari penimbangan Thorium 234 ternyata massanya 12,8 mg. Jika 48 hari kemudian penimbangan menghasilkan massa Thorium 3,2 mg. Waktu paruh thorium ... hari
3. Lima puluh dua gram N- 13 mempunyai waktu paruh selama 10 menit. Dan bilangan avogadro =  $6 \times 10^{23}/\text{mol}$ . Berapa Bq aktivitas nya?
4. Suatu unsur radioaktif waktu paruhnya seperlima belas menit. Berapakah konstanta peluruhan nya?
5. Berasal dari nuklida induk berapakah deret uranium dan deret thorium?

### A. TEORI ATOM

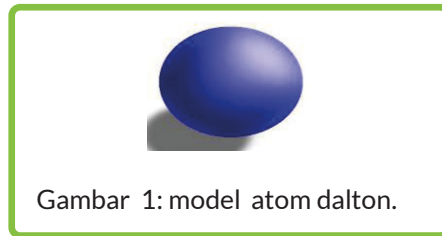
Atom berasal dari kata **Atomos** (bahasa yunani) yang artinya tidak dapat dibagi lagi. Perkembangan teori tentang atom adalah sebagai berikut:

#### 1. Teori atom dalton

Konsep atom dalton sebagai berikut:

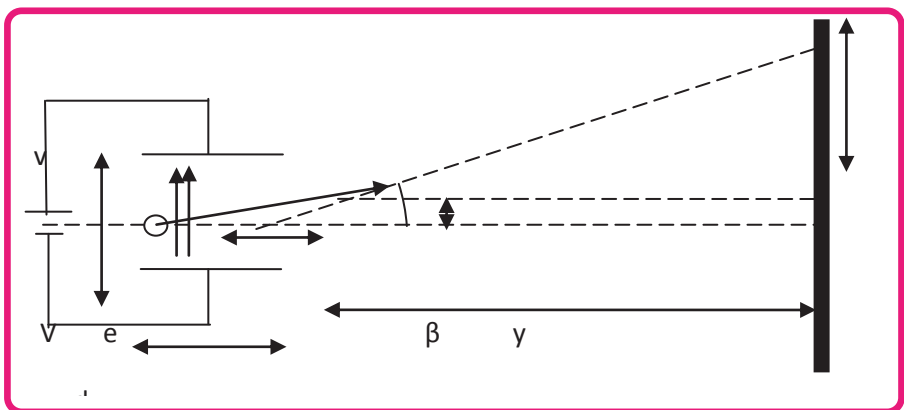
- a. Atom yaitu partikel terkecil yang tidak dapat dibagi lagi

- b. Atom suatu unsur tidak dapat berubah menjadi atom unsur lain
- c. Atom – atom yang berkumpul dapat menjadi molekul
- d. Atom – atom suatu unsur sama (serupa).
- e. Pada suatu reaksi kimia, atom – atom berpisah tetapi dapat
- f. bergabung lagi dengan susunan yang berbeda menurut perbandingan tertentu.



## 2. Teori atom Joseph John Thomson (J.J Thomson)

J. J Thomson melakukan percobaan untuk mengetahui perbandingan antara muatan dan massa elektron. Skema percobaan thomson sebagai berikut:



Gambar 2: Skema percobaan Thomson

Dalam percobaan nya, Thomson melewati sinar katoda pada plat sejajar yang diberi beda potensial. Sinar katoda akan

menyimpang keatas dengan simpangan  $y$  dan sudut  $\beta$ . Besar medan listrik pada plat sejajar dirumuskan:

$$E = \frac{V}{d}$$

Keterangan:  $E$  : medan listrik (volt/m)  
 $d$  : jarak antar plat (m)  
 $V$  : beda potensial (volt)

Sinar katoda yang berbelok karena gaya elektrostatis menimbulkan percepatan muatan elektron. Rumusnya sebagai berikut:

$$a_y = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m}$$

Keterangan:  $a$  = percepatan ( $\text{m/s}^2$ )  
 $e$  = muatan elektron ( $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )  
 $m$  = massa elektron ( $9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ )

Sedangkan, kecepatan vertikal gerak sinar katoda ketika menyimpang dirumuskan:

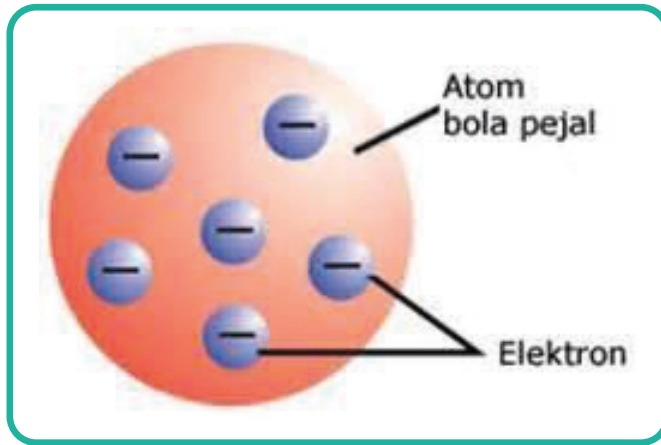
$$V_y = \left( \frac{eE}{m} \right) \left( \frac{l}{v_x} \right)$$

Rumus perbandingan muatan dan massa elektron berdasarkan percobaan Thomson sebagai berikut:

$$\frac{e}{m} = \frac{Y v_x^2}{l \left( L + \frac{1}{2} l \right) E}$$

Teori atom Thomson sesuai berdasarkan percobaan yang dilakukan, yaitu:

□ *atom mempunyai muatan positif yang tersebar merata keseluruhan isi atom. Muatan ini menjadi netral oleh elektron yang tersebar diantara muatan positif*□



Gambar 3: model atom J.J Thomson

### Kelebihan dan Kelemahan Model Atom Thomson

#### Kelebihan:

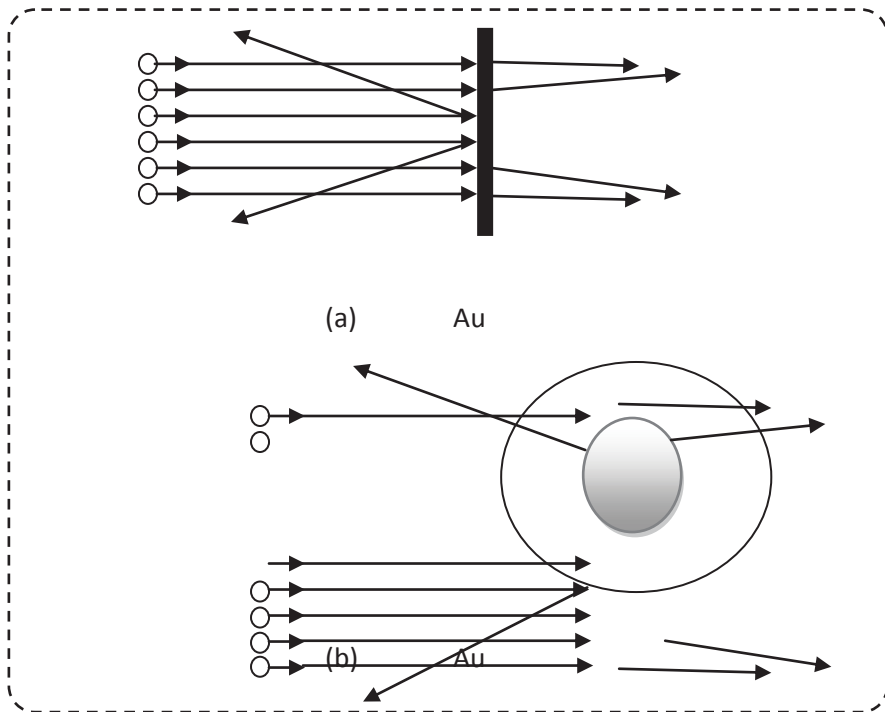
Membuktikan adanya partikel lain yang bermuatan negatif dalam atom. Berarti atom bukan merupakan bagian terkecil dari suatu unsur.

#### Kelemahan:

Model Thomson ini tidak dapat menjelaskan susunan muatan positif dan negatif dalam bola atom tersebut.

### 3. Model atom Ernest Rutherford

Rutherford menembakkan sinar  $\alpha$  ke lempeng emas seperti pada gambar di bawah ini.



**Gambar 4: Hamburan Rutherford**

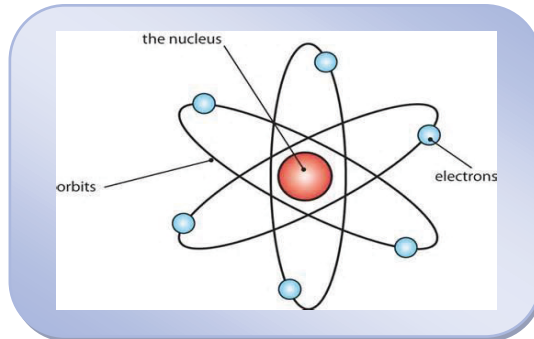
- (a) Hasil percobaan
- (b) Prediksi hamburan oleh inti atom

Menurut Rutherford, atom dapat dipahami sebagai berikut:

1. Atom mempunyai inti atom yang bermuatan positif dan mengandung hampir seluruh massa atom
2. Atom mempunyai elektron – elektron bermuatan negatif yang mengitari inti atom
3. Atom bersifat netral karena jumlah muatan inti sama dengan muatan elektron
4. Elektron tetap berada di orbit
5. Dalam reaksi kimia, hanya elektron terluar yang saling mempengaruhi, inti atom tidak mengalami perubahan

Kelemahan model atom Rutherford sebagai berikut:

- a. Model atom Rutherford tidak dapat menerangkan sebab elektron tidak jatuh ke inti
- b. Menurut model atom Rutherford, spektrum atom hidrogen bersifat diskret



Gambar 5: Model atom Rutherford

#### 4. Atom Neils Bohr

Seorang ilmuwan asal Denmark yaitu Neils Bohr, memberikan postulat mengenai atom setelah mempelajari fenomena atom hidrogen. Postulat tersebut sebagai berikut:

- a. *Elektron bergerak mengelilingi inti atom menurut lintasan tertentu. Selama gerakannya ini elektron tidak menyerap atau memancarkan energi*

**Catatan!**

Tingkat energi elektron pada  $n = 1$  disebut tingkat dasar,  $n = 2$  disebut tingkat eksitasi pertama,  $n = 3$  disebut tingkat eksitasi kedua dan seterusnya.

Momentum sudut gerakan elektron dirumuskan sebagai berikut:

$$m v r = n \frac{h}{2\pi}$$

Berlaku juga persamaan:

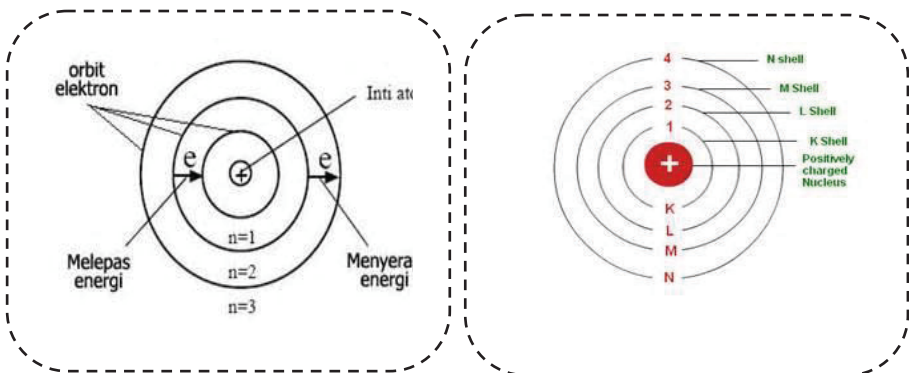
$$F_{\text{sentripetal}} = F_{\text{Coulomb}}$$

Atau

$$\frac{m v^2}{r} = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \frac{Z e^2}{r^2} \text{ atau } \frac{m v^2}{r} = k \frac{Z e^2}{r^2}$$

Keterangan :  $m$  = massa elektron (kg)  
 $v$  = kecepatan elektron mengelilingi inti (m/s)  
 $r$  = jari - jari orbit elektron (m)  
 $h = 6,626 \times 10^{-34}$  Js  
 $\frac{h}{2\pi} = 1,05 \times 10^{-34}$  Js  
 $n = 1, 2, 3 \dots$

**b. Elektron dapat berpindah kelintasan yang energinya lebih rendah disertai pelepasan energi (foton). Elektron dapat berpindah kelintasan yang energinya lebih tinggi (tereksitasi) dengan cara menyerap energi.**



Rumus besar energi foton yang dilepaskan atau diserap elektron sebagai berikut:

$$h \nu = E_1 - E_2$$

Keterangan :  $h$  = tetapan planck  
 $\nu$  = frekuensi yang dipancarkan atau diserap (Hz)  
 $E$  = energi elektron pada lintasan

Sedangkan jari – jari gerak elektron dirumuskan sebagai berikut:

$$r = \frac{n^2 h^2}{4 \pi^2 m k e^2}$$

Keterangan :  $h$  = tetapan planck ( $6,626 \times 10^{-34}$  Js)  
 $\pi = 3,14$   
 $m$  = massa elektron ( $9,1 \times 10^{-31}$ )  
 $k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$   
 $e$  = muatan elektron ( $1,6 \times 10^{-19}$  C)  
 $n$  = nomor orbit elektron

jika semua konstanta dimasukan, maka rumus jari – jari elektron menjadi:

$$r_n = 5,292 \times 10^{-11} n^2$$

jari- jari elektron terdapat pada suatu atom diberi istilah jari – jari Bohr. Jari – jari ini dilambangkan dengan  $a_0$  atau  $r_1$  dan bernilai  $5,29 \times 10^{-11}$  m atau 0,53 Å. Berdasarkan pengertian jari – jari Bohr ini, maka rumusan jari – jari elektron menjadi:

$$r_n = n^2 a_0 \text{ atau } r_n = n^2 r_1$$

Adapun energi kinetik elektron yang beredar dilintasan nya dirumuskan sebagai berikut:

$$E_k = \frac{1}{2} \frac{k e^2}{r}$$



Kelemahan teori atom Bohr sebagai berikut:

1. Lintasan orbit elektron masih dijelaskan dengan sangat sederhana
2. Teori Bohr belum bisa menjelaskan pengaruh medan magnet terhadap atom, ikatan kimia dan spektrum atom berelektron banyak.

1. Percobaan Thomson bertujuan untuk ...

**Penyelesaian:**

**Untuk mengetahui perbandingan muatan dan massa elektron.**

2. Jari – jari lintasan elektron pada bilangan kuantum 1 atom hidrogen yaitu ... m

**Penyelesaian:**

**Diketahui :  $n = 1$**

**Ditanya :  $r_1 = \dots?$**

**Jawab:**

$$r_1 = 5,292 \times 10^{-11} \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} r_1 &= 5,292 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \\ &= 5,292 \times 10^{-11} \end{aligned}$$

### Latihan!

1. Sebuah elektron bergerak pada lintasan 3 dengan kecepatan sebesar  $4 \times 10^6$  m/s tanpa mengeluarkan energi. Lintasan tersebut mempunyai momentum sudut sebesar.....  
( $h = 6,63 \times 10^{-34}$  Js).
2. Kecepatan orbit elektron atom Bohr dilintasan kedua sebesar ...
3. Apa yang terjadi jika Atom mengalami eksitasi?
4. Rumuskan kelajuan linear elektron atom hidrogen yang diperlukan untuk menahan elektron tetap berada dilintasan orbitnya yang berjari – jari  $r$ !

## B. TRANSISI ATOM

### a. Tingkat – tingkat energi kulit atom

Kulit – kulit atom hidrogen mempunyai tingkatan energi yang dirumuskan:

$$E_n = - \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r_n}$$

Tingkat energi pada lintasan elektron terdalam ( $E_1$ ) merupakan energi tingkat dasar (Groundstate).

$$E_1 = - \frac{m e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2} = - 13,6 \text{ eV}$$

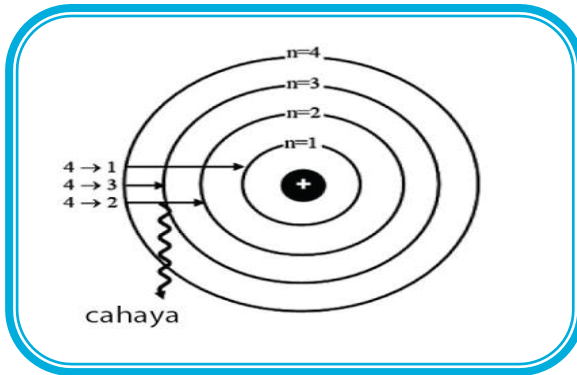
Tanda minus menunjukkan bahwa elektron tidak memiliki energi yang cukup untuk melepaskan diri dari inti. Energi diluar  $E_1$  ( $E_2$ ,  $E_3$  dan seterusnya) disebut keadaan eksitasi. Energi ionisasi yaitu energi yang diperlukan untuk membebaskan elektron dari atom pada keadaan dasar.

Energi elektron diorbit ke – n dirumuskan:

$$E_n = - \frac{E_1}{n^2}$$

### b. Transisi elektron

Bohr mengasumsikan bahwa electron dapat berpindah dari orbit yang satu ke orbit yang lain dengan memancarkan atau menyerap energy disebut transisi electron. Transisi elektron akan mengeluarkan energi yang bersifat diskret.



Gambar 6:  
transisi elektron

### c. Spektrum atom hidrogen

Deret Spektrum atom hidrogen ditemukan oleh beberapa ilmuwan. Deret spektrum itu antara lain sebagai berikut.

#### 1. Deret Balmer (sinar tampak)

Rumusan Gambar panjang gelombang deret balmer yaitu:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Keterangan :

$n = 3, 4, 5, \dots$

$R = 1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$  (tetapan Rydberg)

$\lambda$  = panjang gelombang (m)

Batas deret ini bersesuaian dengan  $n = \infty$ . Letaknya pada spektrum cahaya tampak, merah, biru, ungu dan ultraviolet dekat.

#### 2. Deret lyman (ultraviolet)

Rumus panjang gelombang deret lyman yaitu:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$n = 2, 3, 4, 5 \dots$

deret ini bersesuaian pada spektrum ultraviolet.

### 3. Deret paschen (inframerah I)

Rumus panjang gelombang pada deret paschen adalah:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 4, 5, 6 \dots$$

### 4. Deret brackett (inframerah II)

Rumus panjang gelombang pada deret Brackett adalah:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 5, 6, 7 \dots$$

### 5. Deret Plund (sinar inframerah III)

Rumus panjang gelombang pada deret Plund adalah:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 6, 7, 8 \dots$$

### d. Kaidah seleksi transisi elektron

Transisi elektron memiliki kaidah seleksi sebagai berikut:

1. Transisi berlangsung jika perubahan bilangan kuantum orbital 1 dan -1
2. Transisi bisa berlangsung jika bilangan kuantum magnetik boleh tetap atau berubah dengan perubahan 1 dan -1

Rumusan kaidah seleksi:

$$\Delta l = \pm 1$$
$$\Delta m_l = -1, 0, +1$$

e. Efek zeeman

Momen dwikutup akibat putaran elektron terhadap inti dirumuskan:

$$\mu = i A = \left(\frac{-e}{T}\right) (\pi r^2)$$

Efek zeeman dihasilkan ketika elektron berada dimedan magnet. Jika atom berada dimedan magnet, maka energi total atom dirumuskan sebagai berikut:

$$E = E_{\text{Trans}} + E_M$$

$$E = h \nu_0 + m_l \left(\frac{e h}{4\pi m}\right) B$$

Rumusan frekuensi foton yang terpancar di dalam medan magnet yaitu:

$$\nu = \nu_0 + m_l \left(\frac{e}{4\pi m}\right) B$$

Jarak frekuensi atau setengah lebar frekuensi dirumuskan:

$$\Delta \nu = \left(\frac{e}{4\pi m}\right) B$$

### Contoh soal

1. Hitunglah energi ionisasi atom hidrogen!

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}E_{\text{lon}} &= E_{\infty} - E_1 \\&= \frac{-13,6 \text{ eV}}{\infty} - \frac{-13,6 \text{ eV}}{1^2} \\&= 0 - (-13,6 \text{ eV}) \\&= 13,6 \text{ eV}\end{aligned}$$

2. Tentukan panjang gelombang atom hidrogen pada deret lyman hasil transisi elektron dari kulit ke-3!

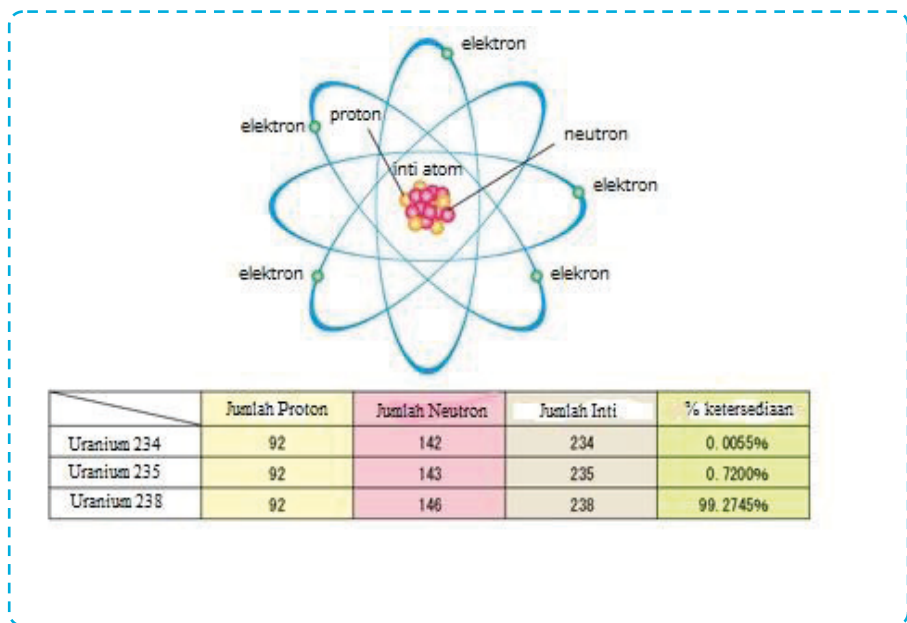
Penyelesaian:

$$\begin{aligned}\frac{1}{\lambda} &= R \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \\&= (1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}) \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right) \\&= (1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}) \left( \frac{8}{9} \right) = 9.751.111,1 \text{ m}^{-1}\end{aligned}$$

### Latihan

1. Kecepatan orbit elektron atom bohr dilintasi kedua sebesar ...m/s
2. Menurut deret lyman, panjang gelombang yang terjadi jika elektron berpindah dari bilangan kuantum ketiga sebuah atom sebesar ...m
3. Energi ionisasi elektron yang terjadi menurut deret balmer sebesar ...J
4. Jika elektron berada dalam lintasan ketiga, maka besar energi ...eV

### C. STRUKTUR INTI



Berbasis pada model atom rudherford dan di tambah dengan beberapa postulat, bohr berhasil menjelaskan bahwa atom dalam keadaan stabil dan spectrum yang dipancarkan atom hidrogen adalah diskrit. Model tersebut telah meletakkan dasar bahwa atom tersusun oleh inti atom yang bermuatan positif dan elektron yang bermuatan negatif. Muatan positifnya kemudian disebut proton.

beberapa hasil eksperimen menunjukan bahwa proton bukanlah satu-satunya partikel penyusun inti. Akhirnya pertanyaan tersebut terjawab setelah seorang fisikawan inggris, James Chadwick (1891-1974), menemukan neutron sebagai penyusun inti selain proton. Kedua partikel penyusun inti disebut nukleon.

Neutron adalah partikel netral yang masanya hampir sama dengan proton. Masa proton dan neutron masing – masing adalah  $m_p = 1,6726 \times 10^{-27}$  kg dan  $m_n = 1,6749 \times 10^{-27}$  kg. Jika dibandingkan dengan masa elektron,  $m_e = 911 \times 10^{-31}$  kg, masa proton dan neutron kira –

kira 1.836 kalinya. Oleh karena itu, sesuai dengan model atom Rutherford, masa atom terpusat pada inti atom.

Dari seluruh unsur yang ada di alam, hydrogen adalah unsur yang struktur itinya paling sederhana. Inti atom hydrogen hanya terdiri atas sebuah proton. Inti – inti unsur lain tersusun oleh sebuah proton dan neutron. Jumlah proton dan neutron dalam iti suatu unsur berbeda dari unsur lainnya. Oleh karena itu, inti (unsur) dilambangkan berdasarkan jumlah proton dan neutron didalamnya. Suatu unsur X yang memiliki Z proton dan A nukleon ( jumlah proton dan neutron)

Dengan

- X = nama unsur  
 Z = nomor atom (jumlah proton  
 A = nomor massa atom jumlah proton dan neutron).



Inti atom suatu unsur ada yang memiliki nomor atom sama tetpi nomor massa berbeda. Inti seperti ini disebut isotop. Sebagai contoh oksigen memiliki tiga isotop yaitu  $^{16}_8\text{O}$ ,  $^{17}_8\text{O}$ ,  $^{18}_8\text{O}$ . contoh lain karbon juga memiliki tiga isotop yaitu  $^{12}_6\text{C}$ ,  $^{13}_6\text{C}$ , dan  $^{14}_6\text{C}$ . Jumlah isotop setiap unsur berbeda – beda, meskipun nomor massanya berbeda, isotop memiliki sifat kimia yang sama.

### Beberapa contoh lambang unsur dan partikel!

Nama Partikel	Lambang
Electron (partikel beta)	$^0_{-1}\text{e}$ atau $^0_{-1}\beta$
Positron	$^0_1\text{e}$ atau $^0_1\beta$
Proton	$^1_1\text{p}$ atau $^1_1\text{H}$
Neutron	$^1_0\text{n}$
Partikel $\alpha$ (inti helium)	$^4_2\alpha$ atau $^4_2\text{He}$



### Latihan soal!

1. Tentukan jumlah proton dan jumlah neutron dalam inti oksigen  $^{17}_8\text{O}$ . berapakah jumlah electron atom oksigen...?
2. Unsur kalium dilambangkan oleh  $^{39}_{19}\text{K}$ . tentukan ;
  - a. jumlah proton
  - b. jumlah neutron
  - c. jumlah electron ion kalium
3. Perbandingan massa dan muatan suatu unsur sama dengan perbandingan massa dan muatan partikel  $\alpha$ . Manakah diantara unsur berikut yang memenuhi pernyataan tersebut ?  
apakah  $^2_1\text{H}$ ,  $^0_3\text{Li}$ ,  $^8_4\text{Be}$ ,  $^{16}_8\text{O}$ ,  $^{12}_6\text{C}$ ...?

### D. KESTABILAN INTI

Radioaktivitas dan Kestabilan Inti – Kestabilan inti atom dapat ditinjau dari aspek kinetika dan energetika. Kestabilan secara energetika ditinjau dari aspek energi nukleosintesis dihubungkan dengan energi komponen penyusunnya (proton dan neutron), disebut energi ikat inti. Kestabilan secara kinetika ditinjau berdasarkan kebolehjadian inti meluruh membentuk inti yang lain, disebut peluruhan radioaktif.

Di alam ditemukan atom-atom atau nuklida-nuklida yang memiliki nomor atau nomor massa berbeda, misalnya  $^3_2\text{He}$  dan  $^4_2\text{He}$ ,  $^{12}_6\text{Cl}$  dan  $^{14}_6\text{Cl}$ . Pada atom-atom yang nomor atomnya sama berarti pada intinya memiliki jumlah proton sama. Sedangkan perbedaan nomor massa menunjukkan bahwa jumlah neutron dalam intinya berbeda. Atom atau nuklida yang memiliki sifat ini disebut *Isotop*.

Inti-inti dengan nomor 20 ke bawah ( $Z \leq 20$ ) akan stabil jika jumlah protonnya sama dengan jumlah neutronnya ( $N=Z$ ). Contohnya adalah  $^{16}_8\text{O}$ ,  $^{22}_{11}\text{Na}$ ,  $^4_2\text{He}$  dan  $^{12}_6\text{C}$ . Berarti  $^3_2\text{He}$  dan  $^{14}_6\text{C}$  tidaklah stabil atau termasuk untuk inti dengan  $Z$  ( $N/Z > 1$ ) berarti jumlah neutronnya harus lebih banyak dari jumlah proton dalam inti.

## Beberapa Nuklida yang Stabil

Nuklida	${}^2_1\text{H}$	${}^{20}_{10}\text{Ne}$	${}^{40}_{20}\text{Ca}$	${}^{64}_{30}\text{n}$	${}^{90}_{40}\text{Sn}$	${}^{120}_{50}\text{Nd}$	${}^{202}_{80}\text{Hg}$
Z	1	10	20	30	40	50	80
N	1	10	20	34	50	70	122
N/Z	1	1	1	1,13	1,25	1,50	1,50

Berdasarkan tabel tersebut, tampak bahwa nilai  $N/Z$  berubah sebagai fungsi  $Z$ . Hubungan proton dan neutron dapat diungkapkan dalam bentuk grafik yang disebut grafik pita kestabilan.

Grafik pita kestabilan Nuklida stabil ditunjukkan oleh titik hitam yang berkerumun membentang seperti pita sehingga disebut pita kestabilan. Di luar pita kestabilan tergolong radioaktif.

Dengan bertambahnya jumlah proton ( $Z$ ), perbandingan neutron proton meningkat hingga 1,5. Kenaikan angka banding  $N/Z$  diyakini akibat meningkatnya tolakan muatan positif dari proton. Untuk mengurangi tolakan antar proton diperlukan neutron yang berlebih. Nuklida di luar pita kestabilan umumnya bersifat radioaktif atau nuklida tidak stabil. Nuklida yang terletak di atas pita kestabilan adalah nuklida yang memiliki neutron berlebih. Untuk mencapai keadaan inti yang stabil, nuklida ini mengubah neutron menjadi proton dan partikel beta.

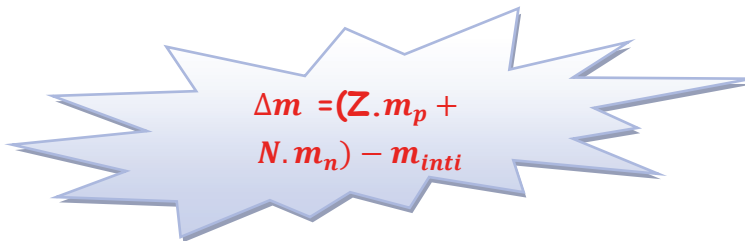
Nuklida yang terletak di bawah pita kestabilan adalah nuklida yang miskin neutron. Untuk mencapai keadaan yang stabil, dilakukan dengan cara memancarkan positron atau penangkapan elektron (*electron capture*) pada kulit K menjadi neutron. Nuklida yang terletak di atas pita kestabilan dengan nomor atom (jumlah proton) lebih dari 83 adalah nuklida yang memiliki neutron dan proton melimpah. Untuk mencapai keadaan stabil, nuklida ini melepaskan sejumlah partikel alfa (inti atom He).

### Latihan Soal

- Berikut ini yang termasuk dari stabilitas inti untuk inti dibawah angka 20 adalah...
  - ${}_{11}\text{Na}^{22}$
  - ${}_6\text{C}^{14}$
  - ${}_2\text{He}^3$
  - ${}_0\text{F}^{17}$
  - ${}_8\text{O}^{17}$
- Ramalkan apakah nuklida  ${}_7\text{N}^{13}$  stabil atau tidak. Jika tidak, bagaimana untuk mencapai stabil?

### E. DEFEEK MASSA

Massa sebuah inti ternyata selalu lebih kecil dari massa penyusunnya. Untuk inti karbon ( ${}^{12}_6\text{C}$ ), massa intinya adalah 11,9967 sma, sedangkan massa penyusunannya (massa 6 proton dan massa 6 neutron) adalah 12,0954 sma. Ini berarti pada saat terbentuknya inti karbon seolah-olah ada kehilangan massa sebesar 0,0987 sma, yang disebut defek massa  $\Delta m$ . Secara umum,


$$\Delta m = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n) - m_{\text{inti}}$$

Dengan ;

$m_n$  = massa neutron

$Z$  = jumlah proton

$m_p$  = massa proton

$N$  = jumlah neutron

$m_{\text{inti}}$  = massa inti

Defek massa tersebut setara dengan energi sebesar ;



$$E = \Delta m \cdot c^2$$

Dengan ;

E = energi (dalam joule)

$\Delta m$  = defek massa (dalam kilogram)

c = kelajuan cahaya dalam vakum =  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

atau



$$E = \Delta m \times 931,5$$

Dengan ;

E= energi (dalam  $M_e V$  )

$\Delta m$  = defek massa ( dalam sma)

Menurut ahli fisika inti, egergi tersebut tidak hilang, tetapi dipakai untuk mengikat nukleon – nukleon inti menjadi suatu kesatuan. Energi tersebut disebut energi ikat.

Karena mengikat A buah nukleon , maka setiap nukleon memperoleh energi ikat sebesar  $E/A$  , disebut energi ikat per nukleon. Semakin besar energi ikat per nukleon , semakin kuat ikatan sebuah nukleon ; energi ikat per nukleon menjadi ukuran kestabilan inti. Bila kita hitung energi ikat per nucleon seluruh inti, ternyata inti besi  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$  memiliki energi ikat per nukleon yang terbesar. Jadi inti besi merupakan inti yang paling stabil . Inti yang lain relatif kurang stabil; inti – inti yang lain memiliki kecenderungan menjadi inti besi, inti berukuran sedang yang lebih stabil. Inti berat cenderung menjadi inti sedang melalui mekanisme pembelahan inti (fisi), sedangkan inti ringan melalui mekanisme penggabungan inti (fusi).

### Contoh soal

Massa inti helium 4,0026 sma , sedangkan massa masing- masing proton 1,0078 sma dan neutron 1,0086 sama sebagai penyusuna intinya. Tentukanlah massa defeknya !

Penyelesaian:

Didalam inti atom He terdapat dua proton ( $Z = 2$ ) dan neutron ( $A - Z = 2$ ), persamaanya sebagai berikut;

$$\Delta m = (Zm_p + (A - Z)m_n) - m_{inti}$$

$$\Delta m = (2 \cdot 1,0078 + 2 \cdot 1,0086) - 4,0026$$

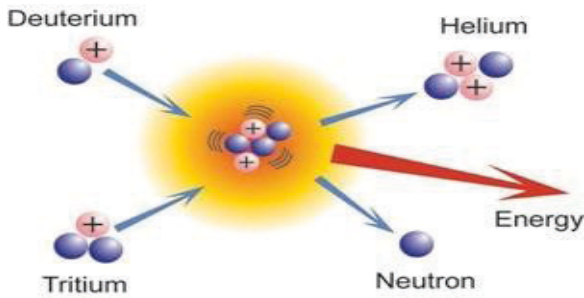
$$\Delta m = 0,0302 \text{ sma}$$

### Latihan

1. Symbol inti atom helium adalah  ${}^4_2\text{He}$ . Jika massa inti helium adalah 4,0026 sma , tentukanlah besar energi ikat inti helium tersebut !
2. Jika massa proton 1,007276 sma, massa neutron 1,008665 sma dan massa inti oksigen - 16 adalah 15,99052 sma . hitunglah energy ikat inti oksigen ! ( 1 sma = 931 meV);

## E. REAKSI INTI

Reaksi inti merupakan peristiwa perubahan suatu inti atom sehingga berubah menjadi inti atom lain dengan disertai munculnya energi yang sangat besar. Agar terjadi reaksi inti diperlukan partikel lain untuk menggoyahkan kesetimbangan inti atom sehingga kesetimbangan inti terganggu. Akibatnya inti akan terpecah menjadi dua inti yang baru.



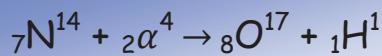
**Gambar: peristiwa reaksi inti**

Pancaran sinar beta dari inti akan mengubah satu neutron dalam inti menjadi proton. Adapun pancaran sinar alfa akan dapat mengurangi nucleon (proton + neutron) dalam inti dengan dua proton dan dua neutron.

$$\text{Pemancaran beta : } {}_Z\text{X}^A \rightarrow {}_{Z+1}\text{Y}^A + {}_{-1}\beta^0$$

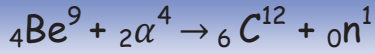
$$\text{Pemancaran alfa : } {}_Z\text{X}^A \rightarrow {}_{Z-2}\text{Y}^{A-4} + {}_2\alpha^4$$

Rutherford pada tahun 1919 mempelajari gejala tumbukan antara partikel alfa dengan atom-atom gas nitrogen. Dari hasil tumbukan itu diperoleh isotop oksigen 17 dan proton. Gejala tumbukan itu juga memperlihatkan terjadinya reaksi inti.



${}_1\text{H}^1$  dapat pula ditulis dengan  ${}_1\text{P}^1$  yaitu sebuah proton.

Pada tahun 1937, Chadwick melakukan suatu percobaan, yaitu menembakkan partikel alfa pada keeping Berilium. Dalam percobaan itu, dia mendapatkan partikel yang baru pertama kali diketahui yang disebut dengan neutron.



Reaksi itu dapat dituliskan dalam suatu persamaan sebagai berikut:



X = Inti sasaran

A = partikel penembak

Y = Inti baru yang dihasilkan

b = Partikel yang dihasilkan (dipancarkan)

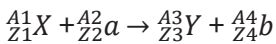
Q = Energi reaksi

*Keterangan:*

alam suatu reaksi inti berlaku beberapa kekekalan yaitu:

1. Hukum kekekalan jumlah nucleon

Jumlah nucleon (proton + neutron) sebelum reaksi sama dengan jumlah nukleon sesudah reaksi. Misalnya pada reaksi :



Dalam hal ini berlaku  $A1 + A2 = A3 + A4$

2. Hukum kekekalan muatan

Jumlah muatan (proton) sebelum dan sesudah reaksi adalah sama. Berdasarkan hukum kekekalan muatan pada reaksi diatas berlaku :

$$Z1 + Z2 = Z3 + Z4$$

3. Hukum kekekalan energi

Hukum kekekalan energy menyatakan bahwa jumlah energy total (relativistik) sebelum dan sesudah reaksi adalah sama.

$$(K_x + E_{ox}) + (K_a + E_{oa}) = (K_y + E_{oy}) + (K_b + E_{ob})$$

$$(K_y + E_b) + (K_x + E_a) = (K_{ox} + E_{oa}) + (K_{oy} + E_{ob})$$

$$(K_y + E_b) + (K_x + E_a) = \{(m_{ox} + m_{oa}) + (m_{oy} + m_{ob})\}c^2$$

Keterangan :

K : energy kinetik (MeV)

$M_0$  : masa diam inti atau partikel (MeV)

#### 4. Hukum kekekalan momentum

Hukum kekekalan momentum menyatakan bahwa jumlah momentum relativitas sebelum reaksi sama dengan jumlah momentum relativistik sesudah reaksi.

$$P_x + P_a = P_y + P_b$$

$$m_x v_x + m_a v_a = m_y v_y + m_b v_b$$

$$\text{dengan } m = m_0 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

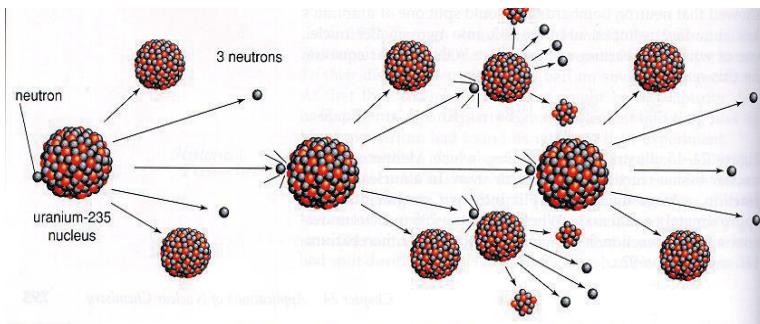
Contoh reaksi inti antara lain adalah  ${}_7\text{N}^{14} + {}_2\text{He}^4 \rightarrow {}_8\text{O}^{17} + {}_1\text{H}^1$  yaitu inti atom Nitrogen ditembak dengan partikel ( ${}_2\text{He}^4$ ) menjadi inti atom Oksigen dengan disertai timbulnya proton ( ${}_1\text{H}^1$ ).

Reaksi inti dibedakan menjadi dua yaitu reaksi fisi dan reaksi fusi.

### 1. Reaksi Fisi

*Reaksi fisi adalah reaksi pembelahan inti berat menjadi inti-inti ringan disertai dengan pelepasan energy. Inti-inti baru harus reaksi disebut sebagai fragmen fisi.. Reaksi fisi ini tentunya menghasilkan inti yang lebih ringan.*

Contoh reaksi fisi didalam reactor atom.





Neutron dengan energi yang tidak terlalu tinggi ketika ditembakkan pada uranium 235, akan membentuk uranium dengan nomor masa lebih besar. Pada kenyataannya inti yang terbentuk (uranium 236) tidak stabil dan segera terbelah menjadi inti-inti yang lebih ringan, yaitu xenon 140 dan stronsium 94. Kedua isotop ini terbentuk tidak stabil. Dengan memancarkan sinar beta, kedua isotop tersebut akan stabil menjadi sebagai berikut:

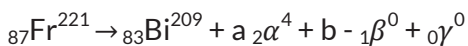


Produk fisi yang dapat keluar dari reaktor gas adalah gas xenon, argon, krypton, Sr-90, I-129, dan C-123.

## Contoh

${}_{87}\text{Fr}^{221}$  Berubah menjadi  ${}_{83}\text{Bi}^{209}$  dengan memancarkan beberapa partikel. Tentukan partikel-partikel yang dipancarkan !

### Penyelesaian



$$4a = 12 ; a = 3 ; 2a - b = 4 ; b = 2$$

Jadi, yang dipancarkan adalah 3 alfa dan 2 beta.

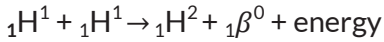
## 2. Reaksi fusi

Reaksi fusi adalah penggabungan dua inti ringan menjadi sebuah inti yang lebih berat disertai dengan pelepasan energi. Sebagai contohnya adalah reaksi yang terjadi pada matahari dan

bintang. Reaksi yang terjadi adalah fusi inti hidrogen menjadi inti helium.

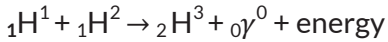
Skema reaksi yang terjadi dapat digambarkan seperti berikut:

a. **Reaksi Awal Proton Bergabung dengan Proton**



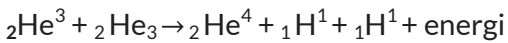
$$Q = 3,27 \text{ MeV}$$

b. **Proton Bergabung dengan Deuteron**



$$Q = 4,03 \text{ MeV}$$

c. **Reaksi Akhir Pembentukan Inti Helium  ${}_2\text{He}^4$**



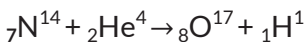
$$Q = 17,59 \text{ MeV}$$

Pada setiap tahap ada energi yang dilepaskan. Energi itu dapat berupa energy cahaya. Reaksi fusi yang berlangsung sendiri hanya dapat terjadi pada kondisi temperatur dan tekanan yang sangat tinggi. Hal itu terjadi agar inti yang akan digabungkan mempunyai energy yang cukup untuk bereaksi.

## Contoh Soal

Suatu inti nitrogen  ${}_7\text{N}^{14}$  yang bereaksi dengan zarah alfa menghasilkan  ${}_8\text{O}^{17}$  dan apa?

**Penyelesaian**



Jadi,  ${}_1\text{H}^1 =$  Proton (inti hidrogen)

## Latihan Soal

1. Apa yang dikemukakan oleh Rutherford Chadwick?
2. Berlaku hukum kekekalan apa sajakah reaksi inti tersebut?
3. Jelaskan yang dimaksud dengan reaksi fisi dan fusi dan berikan contohnya?

4. Tentukan besar energy total pada reaksi  ${}_{92}\text{U}^{238} + {}_0^1\text{n}!$
5. Reaksi  ${}_{92}\text{U}^{238} + {}_0^1\text{n}$ , tuliskanlah kelanjutan reaksi berikut.

## EVALUASI

### I. Pilihlah jawaban a, b,c, d atau e yang paling tepat!

1. Peristiwa berubah nya inti atom menjadi inti atom baru secara spontan dan disertai pancaran sinar radioaktif disebut ...
  - a. Unsur radioaktif
  - b. Sinar radioaktif
  - c. Radioaktif
  - d. Peluruhan
  - e. Interaksi
2. Jumlah partikel yang berdisintegrasi (meluruh) tiap sekon didefinisikan sebagai .
  - a. Radioaktivitas
  - b. Aktivitas
  - c. Peluruhan
  - d. Ci
  - e. Bq
3. Urutan daya ionisasi sinar radioaktif dimulai dari yang paling kuat yaitu ...
  - a. Alfa, beta, dan gamma
  - b. Gamma, alfa, dan gamma
  - c. Beta, alfa, dan gamma
  - d. Alfa, gamma, dan beta
  - e. Gamma, beta, dan alfa
4. Pernyataan berikut terkait dengan sifat suatu sinar radioaktif tertentu dibandingkan dengan sinar radioaktif lain nya.
  - 1) Daya tembus paling besar
  - 2) Dapat menimbulkan fluoresensi
  - 3) Daya ionisasi paling lemah
  - 4) Bermuatan positif
 Sifat yang benar untuk sinar alfa yaitu ...
  - a. 1,2 dan 3
  - b. 1,2,3 dan 4
  - c. 2 dan 4
  - d. 1 dan 3
  - e. 4 saja
5. Untuk mendeteksi radiasi radioaktif disuatu benda digunakan ...
  - a. Refraktor
  - b. Regulator

- c. Multitester
  - d. Generator
  - e. Detektor
6. Partikel penyusun inti atom yang tepat yaitu ...
- a. Proton, nukleon dan neutron
  - b. Proton dan neutron
  - c. Meson dan nukleon
  - d. Meson
  - e. Proton dan elektron
7. Pengertian atom sebagai partikel terkecil yang tidak mampu dibagi lagi dikemukakan oleh ...
- a. Dalton
  - b. Thomson
  - c. Rutherford
  - d. Bohr
  - e. Rontgen
8. Elektron mengitari inti atom dengan energi  $2,4 \times 10^4$  eV. Jari – jari lintasan elektron tersebut sebesar ... m
- a.  $10^{14}$
  - b.  $2 \times 10^{14}$
  - c.  $3 \times 10^{14}$
  - d.  $4 \times 10^{14}$
  - e.  $5 \times 10^{14}$
9. Frekuensi yang dipancarkan pada spektrum deret paschen pertama dari atom hidrogen sebesar ... MHz
- a.  $1,6 \times 10^7$
  - b.  $1,6 \times 10^8$
  - c.  $1,6 \times 10^{10}$
  - d.  $1,6 \times 10^{12}$
  - e.  $1,6 \times 10^{14}$
10. Spektrum gelombang hidrogen dibawah ini yang paling panjang yaitu ...
- a. Plund
  - b. Lyman
  - c. Balmer
  - d. Paschen
  - e. Brackett
11. Suatu elektron menyerap energi jika ...
- a. Bertumbukan dengan elektron lain
  - b. Berpindah lintasan dari
  - c. luar kedalam
  - d. Berpindah lintasan dari dalam keluar
  - e. Melakukan transisi dari lintasan nya
  - f. Menuju keadaan dasarnya
12. Besar frekuensi deret balmer kedua yaitu ... MHz
- a.  $6,170625 \times 10^8$
  - b.  $6,170625 \times 10^9$
  - c.  $6,170625 \times 10^{10}$

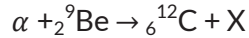
- d.  $6,170625 \times 10^{11}$   
 e.  $6,170625 \times 10^{12}$
13. Energi ionisasi elektron yang bergerak pada lintasan keempat sebesar .. .Ev  
 a. 0,17  
 b. 0,34  
 c. 0,43  
 d. 0,58  
 e. 0,85
14. Inti atom  ${}_{7}^{15}\text{N}$  mempunyai massa 15,008 sma, sedangkan massa proton dan neutron masing-masing sebesar 1,008 sma dan 1,009 sma . defek massa dan energi ikat pada inti tersebut adalah ...  
 a) 0,11 dan 101,98 MeV  
 b) 0,13 dan 102,98 MeV  
 c) 0,12 dan 111,78 MeV  
 d) 0,14 dan 112,78 MeV  
 e) 0,15 dan 113,98 MeV
15. Perbedaan model atom bohr dengan model atom rudherford terletak pada...  
 Massa atom yang pusat pada inti atom  
 a. Jumlah proton dengan jumlah elektron
- b. Muatan proton sama dengan muatan electron  
 c. Electron dalam mengelilingi inti berada pada tingkat – tingkat energy tertentu  
 d. Proton dan neutron berada dalam inti, electron bergerak mengelilingi inti.
16. Jumlah proton dan neutron yang ada dalam inti  ${}_{93}\text{Np}^{239}$  adalah ...  
 a. 239 dan 332  
 d. 93 dan 332  
 b. 146 dan 239  
 e. 93 dan 146  
 c. 93 dan 239
17. Dalam reaksi inti harus memenuhi.....  
 1) Hukum kekekalan momentum  
 2) Hukum kekekalan energy  
 3) Hukum kekekalan nomor atom  
 4) Hukum kekekalan nomor massa
- Pernyataan yang benar adalah.....  
 a. Hanya (1), (2), dan (3)  
 b. Hanya (1) dan (3)  
 c. Hukum (2) dan (4)  
 d. Hanya (4)

e. (1), (2), (3), dan (4)

18. Persamaan reaksi inti ketika suatu inti sasaran X ditembak oleh sebuah partikel a dan menghasilkan inti Y serta sebuah partikel b dapat ditulis sebagai

- a.  $X + a \rightarrow Y + b$
- b.  $Y + b \rightarrow X + a$
- c.  $a + X \rightarrow Y + b$
- d.  $a + X \rightarrow b + Y$
- e.  $b + Y \rightarrow a + X$

19. Reaksi inti berlangsung seperti persamaan berikut :



X pada persamaan di atas adalah.....

- a.  ${}_1^1\text{H}$
- b.  ${}_1^2\text{H}$
- c.  ${}_1^0\text{e}$
- d.  ${}_{-1}^0\text{e}$
- e.  ${}_0^1\text{n}$

20. Suatu atom X mempunyai 42 proton, 42 elektron, dan 65 neutron. Symbol untuk atom ini adalah.....

- a.  ${}_{42}^{147}\text{X}$
- b.  ${}_{42}^{65}\text{X}$
- c.  ${}_{84}^{147}\text{X}$
- d.  ${}_{42}^{107}\text{X}$
- e.  ${}_{84}^{107}\text{X}$

## ESSAY!

1. Sebutkan kelemahan – kelemahan teori atom Rutherford!
2. Jika elektron berada dalam lintasan ketiga besar energinya adalah ...eV
3. Hitunglah jari – jari elektron pada bilangan kuantum ke – 4 atom hidrogen!
4. Jari – jari lintasan elektron pada bilangan kuantum 1 atom hidrogen yaitu ...m
5. Inti suatu unsur memiliki 3 proton dan 4 neutron. tuliskan lambang unsur tersebut.

6. Diketahui massa diam electron  $9,11 \times 10^{-31}$  kg.
  - a. nyatakan massa electron tersebut dalam satuan sma
  - b. setara dengan energi berapakah massa tersebut dalam (MeV)...?
7. Diketahui massa inti helium 4,0026 sma massa proton 1,0078 sma.
  - a. Tentukan massa defek dan energi ikat helium.
  - b. Berapakah energi ikat rata - rata inti helium tersebut per nucleon.
8. Apa yang dimaksud dengan defek massa !
9. Hitunglah besar defek massa pada inti Helium (He) !
10.  ${}_2\text{Be}^9 + {}_2\text{He}^4 \rightarrow {}_6\text{C}^{12} + {}_0\text{n}^1 + Q$

Tentukan energi yang dihasilkan reaksi tersebut jika diketahui sebagai berikut:

Massa  ${}_4\text{Be}^9 = 9,012186$  sma

Massa  ${}_2\text{He}^4 = 4,002604$  sma

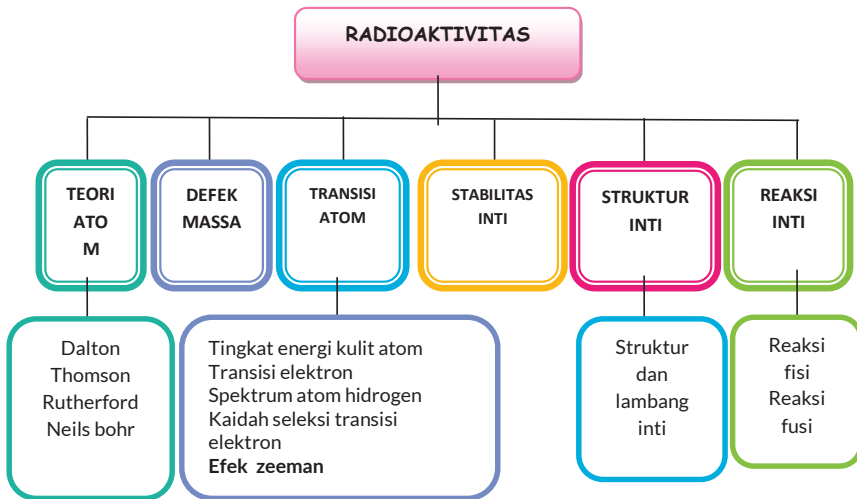
Massa  ${}_6\text{C}^{12} = 12,000000$  sma

Massa  ${}_0\text{n}^1 = 1,008665$  sma

### Kompetensi Dasar:

- Memahami karakteristik inti atom, radioaktivitas, dan pemanfaatannya dalam teknologi
- Menyajikan informasi tentang pemanfaatan radioaktivitas dan dampaknya bagi kehidupan

### PETA KONSEP :







## DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, Rinawan. 2010. *Detik Detik Ujian Nasional Fisika*. Klaten : Intan Pariwara.
- Abadi, Rinawan. 2010. *Fisika Untuk SMA kelas XII*. Klaten: PT Intan Pariwara
- Abadi, rinawan. 2010. *FISIKA SMA/MA*. Klaten : PT Intan Pariwara
- Fendi, purwoko. 2010. *Fisika 3*. Jakarta : yudhistira
- Giancoli. 2001. *FISIKA Edisi Kelima Jilid 2*. Jakarta: Erlangga
- Gunawan, Adi dan Roeswati. 2006. *Tangkas Fisika SMU*. Surabaya: Kartika
- <http://fisikadasar.com/energi-gelombang.html>
- <http://fisikanesia.blogspot.com / 2013 / 03 / sifat - gelombang- penjumlahan - gelombang. html>
- [http://fisikon.com/kelas3/index.php?option=com\\_content&view=article&id=31: sifat-sifat - gelombang- interferensi- gelombang &catid=1:gelombang - mekanik&Itemid = 77](http://fisikon.com/kelas3/index.php?option=com_content&view=article&id=31: sifat-sifat - gelombang- interferensi- gelombang &catid=1:gelombang - mekanik&Itemid = 77)
- Ishaq, Muhamad. *Fisika Dasar Edisi 2*. Bandung : Graha Ilmu.
- Jalaudin, Dudung dan Saepudin. 2007. *Pelajaran Fisika Untuk SMA/MA Kelas XII*. Ciamis: Arya Duta.
- Kanginan, Marthen. 2010. *Seribu Pena Fisika Untuk SMA/MA kelas XII*. Jakarta: Erlangga.
- Nugroho, djoko. 2009. *Fisika SMA Kelas XII*. Jakarta: Erlangga
- Murdaka, Bambang. 2007. *Fisika Dasar*. Yogyakarta : Andi.

- Purwanto, Budi. 2008. *FISIKA DASAR Teori dan Implementasinya Untuk Kelas XI SMA dan MA Semester 2 Program Ilmu Pengetahuan Alam*. Solo : PT Tiga Serangkai Pustaka mandiri
- Purwoko, Fendi .2009. *Fisika 2 SMA Kelas XI*. Jakarta : Penerbit Yudhistira
- Ruwanto, Bambang. 2007. *Fisika SMA kelas 3 semester 1*. Yogyakarta: Yudhistira
- Purwanto dan Fendi. 2009. *Fisika 3 SMA Kelas XII*. Jakarta: Yudidistira.
- Purwoko dan Fendi.2006. *FISIKA SMA KELAS 3*. Jakarta Timur: Yudhistira
- Purwoko, Fendi.2007.*FISIKA SMA KELAS 12*. Yogyakarta: Yudhistira
- Resmiyanto, Rachmad dkk. 2008. *Kajian Konsep FISIKA 3*. Solo: Platinum
- Siswanto, Sukaryadi. 2009. *Kompetensi Fisika Kelas XI Untuk SMA/MA*. Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional.
- Supriyanto. 2006. *Fisika kelas XII jilid 3*. Jakarta : Phibeta
- Salim Hasan, Devi ujang. 2007. *Keteraturan Fisika SMA Kela XII*. Jakarta: Ricord
- Saripudin, Aip dkk. 2009. *Praktis Belajar Fisika*. Jakarta :visindo media persada
- Supiyanto. 2002. *Fisika Untuk SMA Kelas 3*. Jakarta: Erlangga.
- Supiyanto. 2006. *Fisika Untuk SMA Kelas XII*. Jakarta: Phibeta.
- Supomo, Titus. 2009. *Master Prediksi Soal Fisika SMA*. Yogyakarta. Edukasia.

# GLOSARIUM

<b>Momen gaya</b>	: Sebuah besaran yang menyatakan besarnya gaya yang berkerja pada sebuah benda sehingga mengakibatkan benda tersebut berotasi.
<b>Titik berat</b>	: Titik tangkap resultan semua gaya berat yang bekerja pada tiap bagian benda
<b>Adhesi</b>	: Gaya tarik menarik antara partikel yang tidak sejenis
<b>Fluida</b>	: Zat alir yang berupa zat cair dan zat gas
<b>Fluida dinamik</b>	: Fluida yang mengalir
<b>Fluida ideal</b>	: Fluida yang memiliki ciri-ciri istimewa dan hanya ada di angan-angan tidak dalam kenyataan
<b>Fluida sejati</b>	: Fluida yang ada dalam kenyataan
<b>Fluida statik</b>	: Fluida yang tidak mengalir
<b>Koefisien viskositas</b>	: Derajat kekentalan suatu fluida
<b>Kohesi</b>	: Gaya tarik menarik antara partikel-partikel yang sejenis
<b>Manometer</b>	: Alat pengukur tekanan pada ruang tertutup
<b>Meniskus cekung</b>	: Permukaan fluida dengan sudut kontak $< 90^\circ$
<b>Meniskus cembung</b>	: Permukaan fluida dengan sudut kontak $> 90^\circ$

<b>Venturimeter</b>	: Alat untuk menentukan kecepatan aliran fluida
<b>Viskositas</b>	: Kekentalan fluida
<b>Energi Kinetik</b>	: Energi yang dimiliki oleh suatu benda karena geraknya (kecepatannya).
<b>Gas Ideal</b>	: Keadaan gas dianggap sempurna, memiliki sifat tertentu sehingga dapat diterapkan pada teori kinetik gas. Gas ideal terdiri dari molekul-molekul yang menempati ruang yang terabaikan dan memiliki gaya antarmolekul yang juga dapat diabaikan.
<b>Hukum Boyle</b>	: Jika suhu gas yang berada pada bejana tertentu (tidak bocor) dijaga tetap, maka tekanan gas berbanding terbalik dengan volumenya.
<b>Hukum Gay Lussac</b>	: Sifat gas pada keadaan isokhoris, sehingga hasil bagi tekanan dengan suhu adalah tetap.
<b>Hukum Charles</b>	: Hukum pada tekanan tetap yang menyatakan bahwa <i>pada tekanan tetap, volume gas ideal bermassa tertentu berbanding lurus terhadap temperaturnya (dalam Kelvin)</i>
<b>Hukum Boyle – Gay Lussac</b>	: <i>Bagi suatu kuantitas dari suatu gas ideal (yakni kuantitas menurut beratnya) hasil kali dari volume dan tekanannya dibagi dengan temperatur mutlaknya adalah konstan</i>

<b>Energi dalam (<i>internal energy</i>)</b>	: Energi suatu system pada keadaan tertentu yang merupakan energy kinetik partikel-partikel gas.
<b>Tekanan</b>	: Gaya yang bekerja tegak lurus per satuan luas suatu permukaan atau perbandingan gaya terhadap luas.
<b>Kapasitas kalor gas</b>	: Banyaknya kalor yang di perlukan gas untuk menaikkan suhunya sebesar $1^{\circ}\text{C}$ atau 1 K.
<b>Kalor jenis gas</b>	: Banyaknya kalor yang di perlukan tiap 1 kilogram gas untuk menaikkan atau melepaskan suhunya sebesar $1^{\circ}\text{C}$ atau 1 K.
<b>Kalor jenis molar gas</b>	: Kapasitas kalor tiap mol
<b>Siklus</b>	: Suatu rantai proses yang berlangsung sampai ke keadaan semula
<b>Efisiensi mesin</b>	: Perbandingan antara usaha yang di lakukan dengan kalor yang diserap



# CURRICULUM VITAE

## IDENTITAS DIRI

**Nama** : Dr. YUBERTI, M.Pd  
**NIP** : 19770920 200604 2 011  
**Tempat dan Tanggal Lahir** : Pesisir Barat, 20 September 1977  
**Agama** : Islam  
**Golongan / Pangkat** : III/d/PenataTk.I  
**Jabatan Fungsional Akademik** : Lektor  
**Perguruan Tinggi** : IAIN Raden Intan Lampung  
**Alamat** : Jl.Letkol Endro Suratmin  
Kampus Sukarama Bandar  
Lampung  
**Telp./Faks.** : 0721-780778  
**Alamat Rumah** : Jl. Bukit Meranti Perum Bukit  
Kemiling Permai Blok S No.  
149 Kemiling Bandar  
Lampung 35153  
**Telp./Faks.** : 081379985037 / 0721-  
7445757  
**E-mail** : yuberti@iainlampung.ac.id  
dan yuberti iain@yahoo.co.id

## RIWAYAT PENDIDIKAN PERGURUAN TINGGI

Tahun Lulus	Program Pendidikan	Perguruan Tinggi	Jurusan/ Program Studi
2000	S1	Universitas Lampung	Pendidikan MIPA/Pendidikan Fisika
2005	S2	Universitas Lampung	Teknologi Pendidikan
2013	S3	Universitas Negeri Jakarta	Teknologi Pendidikan



## PELATIHAN PROFESIONAL

Tahun	Jenis Pelatihan	Penyelenggara	Jangka Waktu
2006	Pelatihan Guru Bantu Se-Provinsi Lampung	Lembaga Penjamin Mutu Pendidikan (LPMP) Lampung	14 Hari
2007	Pendidikan dan Pelatihan Jabatan Pegawai Negeri Sipil	Pusdiklat Tenaga Administrasi Badan litbangdan Diklat Depag Palembang	14 Hari
2007	TOT Peningkatan Kualitas Sumber daya Tenaga Dosen dibidang Pengembangan Kurikulum, Metodologi Pembelajaran dan Sistem Evaluasi Pendidikan Agama Islam	Dirjen Binbaga RI – Fak Tarbiyah IAIN Raden Intan	3 Hari
2008	Pelatihan Peningkatan Mutu Pelayanan Pendidikan Tenaga Dosen	CED IAIN Raden Intan Lampung	3 Hari
2008	Pelatihan Pembibitan Calon tenaga Kependidikan	Kepegawaian IAIN Raden Intan Lampung	5 Hari
2010	Pelatihan Orang Tua Mempersiapkan Anak Tangguh Di Era Layar Melalui Komunikasi Efektif	Yayasan Darul Hikmah dan Jaringan Sekolah Islam Terpadu Provinsi Lampung	1 Hari
2010	Pelatihan Teknologi Informasi (Sistem Informasi Kampus/SIMAK)	Pusat Komputer IAIN Raden Intan Lampung	3 Hari
2012	Pelatihan Tutor UT Cab. Lampung	UPBJJ Bandar Lampung	5 Hari
2013	Pelatihan Asesor oleh Badan Akreditasi Nasional Sekolah/Madrasah	Badan Akreditasi Provinsi Lampung	40 JPL

## PENGALAMAN MENGAJAR

<b>Mata Kuliah</b>	<b>Program Pendidikan</b>	<b>Institusi/Jurusan/Program Studi</b>	<b>Smt/Tahun Akademik</b>
Konsep Dasar IPA MI	D2	Fakultas Tarbiyah/Guru Kelas	Ganjil 2000-2005
Pendidikan IPA MI	D2	Fakultas Tarbiyah/Guru Kelas	Genap/2000- 2005
Ilmu Alamiah Dasar (IAD)	S1	Fakultas Tarbiyah/Tadris Bahasa Inggris	Ganjil / 2007-2008
Teknologi Pendidikan	S1	Fakultas Tarbiyah/Kependidikan Islam (KI)	Genap / 2007-Skrng
Profesionalisme Keguruan	Akta IV	IAIN Raden Intan/Fakultas Tarbiyah Program Akta IV	Genap /2007-2008
Pendidikan IPA di MI	S1	Fakultas Tarbiyah/PGMI	Ganjil/2009 – 2011
Fisika Matematika I (Fisimat)	S1	Fakultas Tarbiyah//Tadris Fisika	Ganjil/2009 – 2011
Konsep Dasar Matematika	S1	Program Dual Mode System Depag	Ganjil2009 – 2010
Evaluasi Pendidikan Biologi di Sekolah Lanjutan	S1	Fakultas Tarbiyah/Tadris Biologi	Ganjil 2009 - 2010
Alat-Alat Ukur Listrik	S1	Fakultas Tarbiyah//Tadris Fisika	Genap/2009 - 2010
Fisika Dasar I dan II	S1	Fakultas Tarbiyah/Tadris Biologi/Tadris Matematika /Tadris Fisika	Genap/2009 - Skrng
Statistik Pendidikan	S1	Fakultas Tarbiyah/Kependidikan Islam (KI)	Genap/ 2009 - Skrng

## PRODUK BAHAN AJAR

Mata Kuliah	Program Pendidikan	Jenis Bahan Ajar	Smt/ Tahun Akademik
Konsep Dasar IPA SD	D2	Buku Ajar Cetak "Konsep dasar IPA"	Genap/2000-2006
Fisika Dasar I	S1	Buku Ajar Cetak 'Konsep Kelistrikan dalam Fisika Dasar"	Ganjil/2007-2008
Gelombang Optik	S1	Buku Ajar Cetak "Pengantar Gelombang"	Ganjil/2008-2009
Fisika Dasar II	S1	Buku Ajar Cetak "Pengenalan Atom"	Genap/2008-2009
Fisika Dasar I	S1	Buku Ajar Cetak /Dasar Fisika Dasar I	Ganjil/2009-2010
Strategi Belajar Mengajar	S1	Buku Ajar Cetak "Strategi Belajar Mengajar "	Ganjil/2012-2013

## PENGALAMAN PENELITIAN

Tahun	Judul Penelitian	Peran
2002	Analisis Kesulitan Belajar Siswa Mengenai Konsep Fisika	Peneliti
2005	Penerapan Model Penilaian Kinerja Siswa Pada Mata Pelajaran Fisika di SMA YP Unila Bandar Lampung T.A 2005/2006	Peneliti
2012	Pengaruh Penerapan metode Inkuiri Terpimpin Terhadap Hasil Belajar Fisika Materi Elektrostatis Pada Siswa Kelas VII Se,ester I SMPN 28 Bandar Lampung T.A 2012/2013	Peneliti
2013	Model Pembelajaran Berbasis Cara Kerja Otak Dalam Mata Pelajaran IPA (Penelitian dan Pengembangan Model Pada Sekolah Dasar Kecamatan Kemiling Bandar Lampung )	Peneliti

<b>Tahun</b>	<b>Judul Penelitian</b>	<b>Peran</b>
2013	Penerapan <i>Performance Assesment</i> Pada Mata Kuliah Fisika Dasar Prodi Pendidikan Fisika Fakultas Trabiyah dan Keguruan IAIN Raden Intan Lampung	Peneliti

## KARYA ILMIAH

### A. Buku/Bab/Jurnal

<b>Tahun</b>	<b>Judul</b>	<b>Penerbit/Jurnal</b>
2007	Konsep Kelistrikan dalam Fisika Dasar	Fakta Press IAIN Raden Intan Lampung ISBN 978-602-8141-33-8
2008	Penuntun Praktikum Fisika Dasar I	Tadris Fisika Fakultas Tarbiyah
2008	Penuntun Praktikum Fisika Dasar II	Tadris Fisika Fakultas Tarbiyah
2008	Penuntun Praktikum elektronika Dasar	Tadris Fisika Fakultas Tarbiyah
2009	Pengantar Gelombang	Pusikamla FU Raden Intan Lampung. ISBN 978-602-8623-10-0
2009	Pengenalan Konsep Atom	Pusikamla FU Raden Intan Lampung ISBN 978-602-8623-07-0
2009	Pengaruh Panjang gelombang cahaya dalam Peristiwa Fotosintesis	Jurnal Biosfer Tadris Biologi Fakultas Tarbiyah. Volume 1 No.1 ISSN 2086-5945
2010	Tradisi Fisika Dan Kaitannya Dengan Sumber Keanekaragaman di Alam semesta	Jurnal Biosfer Tadris Biologi Fakultas Tarbiyah Volume 2 No.2 ISSN 2086-5945
2010	Buku Ajar Fisika Dasar I	Tadris Fisika Fakultas Tarbiyah
2010	Konsep Penilaian Kinerja Mahasiswa ( <i>Assesment</i> )	Tadris Fisika Fakultas Tarbiyah

Tahun	Judul	Penerbit/Jurnal
	<i>Performance)</i>	
2012	Biokimia Pada Konsep Fisika Dasar	Jurnal Al-Biru Tadris Fisika Fakultas Tarbiyah
2012	Aplikasi Sains Berbasis Multimedia Pada Anak Usia Dini	Jurnal Darul Ilmi PGRA Fakultas Tarbiyah
2013	Dinamika Perkembangan Definisi Teknologi Pendidikan dan Implikasinya	Jurnal Al-Biru Tadris Fisika Fakultas Tarbiyah
2013	Persepsi Guru Pamong Terhadap kemampuan Mengajar Mahasiswa PPL Jurusan Pendidikan Fisika Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	Jurnal Lentera Pendidikan FTK UIN Alaudin Makasar
2014	Membangun Metakognisi Mahasiswa Untuk Mengatasi Kesulitan Memahami Konsep Fisika	Jurnal Al-Biru Tadris Fisika Fakultas Tarbiyah

## B. Makalah/Poster

Tahun	Judul	Penyelenggara
2006	Peran Kinerja Tentor Profesional Pada Bimbingan Belajar Primagama Bandar Lampung	Bimbingan Belajar Primagama Cabang Bandar Lampung
2007	Pembuatan Naskah Audio dengan Manipulasi Bunyi dan Suara untuk menciptakan adegan dengan suasana dan situasi yang sesuai dengan kehidupan sebenarnya.	PPs Teknologi Pendidikan Universitas Lampung

### C. Penyunting/Editor/Reviewer/Resensi

Tahun	Judul	Penerbit/Jurnal
2009	Pengaruh Dosis Pupuk Nitrogen (N) dan Kalium (K) terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Semangka ( <i>Citrullus vulgaris scard</i> ) oleh Sulistiyani Faozah	Jurnal Biosfer Tadris Biologi Fakultas Tarbiyah. Volume 1 No.1. ISSN 2086-5945
2010	Penilaian Kualitas Suara dua Spesies burung bernyanyi, Kenari dan Anis Merah Oleh Ucu Julita dan Lulu Lusianti Fitri	Jurnal Biosfer Tadris Biologi Fakultas Tarbiyah Volume 2 No.2. ISSN 2086-5945

### KONFERENSI/SEMINAR/LOKAKARYA/SIMPOSIUM

Tahun	Judul Kegiatan	Penyelenggara	Panitia / Peserta/ Pembicara
2007	Seminar Nasional Membangun Demokrasi Politik dan Ekonomi ditengah Masyarakat Multikultural	Mediation Center IAIN Raden Intan Lampung	Peserta
2007	Diskusi Dosen Fakultas Tarbiyah dengan tema Undang-Undang Guru dan Dosen	Fak.Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	Panitia
2008	Seminar Nasional Tentang Strategi Peningkatan Mutu Profesi Pendidikan	Prodi Bimbingan Konseling Islam Fak.Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	Panitia
2008	Seminar Nasional Perkembangan Teknologi Informasi dan Pengaruhnya Pada Masa depan Pendidikan	Forum Komunikasi Mahasiswa PPs IAIN Lampung	Peserta

<b>Tahun</b>	<b>Judul Kegiatan</b>	<b>Penyelenggara</b>	<b>Panitia / Peserta/ Pembicara</b>
2008	Workshop Peningkatan Standar Mutu Calon Dosen	Lembaga Penjamin Mutu (LPM) IAIN Raden Intan Lampung	Peserta
2008	International Seminar and Workshop Developing the Nation Character Through Values Education	Fak.Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	Peserta
2009	Seminar Nasional Menjadi Guru Ideal dan Berkarakter	Empathy Training Center Lampung	Panitia
2009	Seminar Nasional Penyatuan dan Pengembangan Kurikulum IAIN Raden Intan Lampung	Lembaga Penjamin Mutu (LPM) IAIN Raden Intan Lampung	Peserta
2009	Seminar dan workshop Pendidikan “ Peningkatan Kualitas Guru melalui pendidikan Profesi dan sertifikasi”	Forum Dekan Fakultas Tarbiyah se-Indonesia	Panitia
2009	Seminar dan workshop Penyempurnaan Kurikulum dan Silabi	Fak.Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	Peserta
2010	Tingkatkan Wawasan dan pengetahuan dan pemahaman Tentang konsep dasar Biologi yang Berlandaskan Islam	Tadris Biologi Fak.Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	Panitia
2012	International Seminar “ <i>The Contextualization of Counseling and Management in Human Resources</i> ”	Prodi Bimbingan Konseling Islam Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan	Peserta

<b>Tahun</b>	<b>Judul Kegiatan</b>	<b>Penyelenggara</b>	<b>Panitia / Peserta/ Pembicara</b>
	<i>Profesionalime Development"</i>	Lampung	
2013	Melalui Seminar Penyelenggaraan PPG kita tingkatkan Mutu Guru Madrasah	LPTK IAIN Raden Intan Lampung	Panitia
2013	Pengembangan Kurikulum Prodi Pendidikan Fisika sebagai Dampak Implementasi Kurikulum 2013	Prodi pendidkan Fisika FTK IAIN Raden Intan Lampung	Ketua Panitia
2013	International Conference: "Islamic Studies and educational institution in South-East Asia: Changes and Callenges"	International Conference State Institute Of Islamic Studies Raden Intan Lampung	Peserta

## **KEGIATAN PROFESIONAL/PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT**

<b>Tahun</b>	<b>Jenis&gt;Nama Kegiatan</b>	<b>Tempat</b>
2006 - 2008	Konsultan Pendidikan Kota Bandar Lampung (Monitoring dan Evaluasi Penggunaan Dana Anggaran Satker Dinas Pendidikan Lampung)	Dinas Pendidikan Kota Bandar Lampung
2007 - 2008	Anggota Tim Persiapan Pembukaan Jurusan Tadris Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung
2008 - 2010	Wakil Sekretaris Majelis Taklim At- Taubah di Kemiling Permai Bandar Lampung	Bukit Kemiling Permai Bandar Lampung
2008 -	DPL Magang Kependidikan	SMPN 2 Way Lima



<b>Tahun</b>	<b>Jenis/Nama Kegiatan</b>	<b>Tempat</b>
2010	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	Kedondong Pesawaran
2009	Ketua Panitia Kegiatan Bazar Amal Majelis Taklim At-Taubah Kemiling Permai Bandar Lampung	Bukit Kemiling Permai Bandar Lampung
2009	Panitia Pertemuan Forum Dekan Tarbiyah Seluruh Indonesia	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung
2009	Nara sumber pada acara orientasi prodi Tadris Fisika IAIN Raden Intan Lampung	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung
2009	Panitia Seminar Nasional Empathi Training Center (ETC) Cabang Lampung	Hotel Nusantara Bandar Lampung
2009	Anggota TIM Pelaksana Rapat Kerja Pimpinan IAIN Raden Intan Tahun 2009	Anyer Banten Selatan
2010	TIM Persiapan Pemantapan Pekuliahan Fak. Tarbiyah IAIN Lampung	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung
2010	Panitia Pengadaan Laboratorium Fisika Fakultas Tarbiyah	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung
2010	Anggota TIM Pelaksana Rapat Kerja Pimpinan IAIN Raden Intan tahun 2010	Krakatau Nirwana Resort Kalinda Lampung Selatan
2012	DPL Magang Kependidikan Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	SMPN 28 Bandar Lampung
2013	DPL Magang Kependidikan Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	SMA YP Unila B. Lampung
2014	Pendampingan Program Kesehatan Reproduksi Santri dan Lifeskills Budaya Jahe Merah	Ponpes El-Mizan Belambangan Umpu Way Kanan

## JABATAN DALAM PENGELOLAAN INSTITUT

<b>Peran / Jabatan</b>	<b>Institusi</b>	<b>Tahun</b>
Staf Kasubbag Akademik dan Kemahasiswaan (CPNS/Cados)	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	1 Maret 2007
PNS/Cados	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	02 Juli 2007
Staf Laboratorium Pendidikan	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	18 Juli 2007
Tenaga Pengajar Fisika Dasar pada Jurusan Tadris Biologi	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	29 April 2008
Assisten Ahli Fisika Dasar pada Jurusan Tadris Biologi	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	17 Maret 2009
Penata (III/b)	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	1 Februari 2010
Lektor (IIIc)	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	2 Maret 2010
Sekretaris Dharma Wanita	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	2007 - 2008
Panitia Penyusunan Proposal Tadris Fisika	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	2007 - 2008
Sekretaris Prodi Tadris Fisika	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	2008 - 2010
Anggota Tim Pelaksana Akreditasi Tadris Biologi	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	2010
Lektor (IIId)	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	September 2013

## PERAN DALAM KEGIATAN KEMAHASISWAAN

Tahun	Jenis/Nama Kegiatan	Peran	Tempat
2003 - 2005	Studi Lapangan Mahasiswa D2GK Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung	Pembimbing	MIN Model Kalianda Lampung Selatan
2008 – Sekarang	Penulisan Proposal dan Skripsi Mahasiswa	Pembimbing	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung
2008 – Sekarang	Pembimbing Akademik Mahasiswa	Pembimbing	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung
2009	Kegiatan Kuliah Lapangan (KKL) Tadris Biologi	Pembimbing	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung
2008 – 2009	Kegiatan Magang Kependidikan Mahasiswa	Pembimbing	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan Lampung
2008 – 2011	Kegiatan Pendadaran Magang Kependidikan	Penguji	Fakultas Tarbiyah IAIN Raden Intan

## PENGHARGAAN/PIAGAM

Tahun	Bentuk Penghargaan	Pemberi
2006	Pengabdian dan Meningkatkan Program Pendidikan di Lampung	Gubernur Lampung

## ORGANISASI PROFESI/ILMIAH

Tahun	Jenis / Nama Organisasi	Jabatan
2002 – 2007	Himpunan Evaluasi Pendidikan Indonesia (HEPI) Cabang Lampung	Pengurus
2006 – 2009	Himpunan Dosen Seluruh Indonesia (HIDSI) Cabang Lampung	Anggota
2009 - 2010	Empathi Training Center (ETC) Cabang Lampung	Pengurus
2010- Sekarang	Ikatan Teknologi Pendidikan Indonesia (IPTPI)	Anggota
2011- Sekarang	<i>Associate Educational Community Tecnology International (AECTI)</i>	Anggota

Saya menyatakan bahwa semua keterangan dalam *Curriculum Vitae* ini adalah benar dan apabila terdapat kesalahan, saya bersedia mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, April 2014

Dr. Yuberti, M.Pd  
NIP. 19770920 200604 2011

